



Abstract book

DGfB 2026

18.-20. März, Hamburg

14. Kongress der
Deutschen Gesellschaft
für Biomechanik



WIE BEEINFLUSST MECHANISCHE BELASTUNG DAS QUELLVERHALTEN DER BANDSCHEIBE? EINE IN-VITRO-STUDIE

Ann-Kathrin Greiner-Perth (1), Hanna Unseld (1), Hans-Joachim Wilke (1), Christian Liebsch (1)

1. Institut für Unfallchirurgische Forschung und Biomechanik, Universitätsklinikum Ulm

Einleitung: Der Wassergehalt der Bandscheibe (BS) folgt tageszeitlichen Schwankungen: Tagsüber reduziert mechanische Belastung den Wassergehalt, nachts fördern osmotische Prozesse die Rehydrierung [1]. Die Effekte mechanischer Belastung auf das Quellverhalten lumbaler BS und deren biomechanischen Eigenschaften sind jedoch bislang nur wenig untersucht, was die Aussagekraft von Ergebnissen experimenteller und numerischer Studien limitieren kann. Ziel dieser Studie war es, die Einflüsse mechanischer Belastung auf das Quellverhalten von lumbalen BS sowie auf den intradiskalen Druck (IDP), den Bewegungsumfang (ROM), die Neutrale Zone (NZ) und die Bandscheibenhöhe (BH) zu analysieren.

Methoden: 18 lumbale ovine Bewegungssegmente (6 x L1-L2, 6 x L3-L4, 6 x L5-L6) wurden für 24 h in 0,9-%iger Salzlösung (NaCl) randomisiert unter drei Belastungsbedingungen hydriert: Unbelastet, 58 N (simuliert die In-vivo-Erholungsphase bei Schafen) und 130 N (simuliert die aktive Phase bei Schafen) [2]. ROM und NZ wurden mittels reiner Momente von 7,5 Nm in allen drei Bewegungsrichtungen an fünf Zeitpunkten erfasst (Ausgangswert, nach 2-, 4-, 8- und 24-stündiger Hydrierung). Der IDP wurde mittels eines faseroptischen Drucksensors gemessen, der in den Nucleus pulposus implantiert wurde. Die statistische Analyse erfolgte mittels Wilcoxon-Test und Friedman-Test mit Bonferroni-Korrektur in SPSS29 (Signifikanzniveau $\alpha=0,05$).

Ergebnisse: Der intrinsische IDP stieg in der unbelasteten Gruppe nach 8- und 24-stündiger Hydrierung signifikant an ($p < 0,05$). Die BH stieg während aller Hydrierungsintervalle signifikant ($p < 0,05$). Während Bewegung erhöhte sich der IDP in der Flexion nach 24 h und in allen anderen Bewegungsrichtungen nach 8 h und 24 h ($p < 0,05$, Abb. 1). Die ROM reduzierte sich in Seitneigung nach 8 h und 24 h Hydrierung signifikant, die NZ in Flexion/Extension nach 24 h ($p < 0,05$). In der 58-N-

Gruppe nahm der IDP während der Extension nach 8 h und 24 h zu ($p < 0,05$), während in den anderen Bewegungsrichtungen sowie für ROM, NZ und BH keine Veränderungen auftraten ($p > 0,05$). In der 130-N-Gruppe wurden bei keinem der gemessenen Parameter signifikante Veränderungen beobachtet ($p > 0,05$).

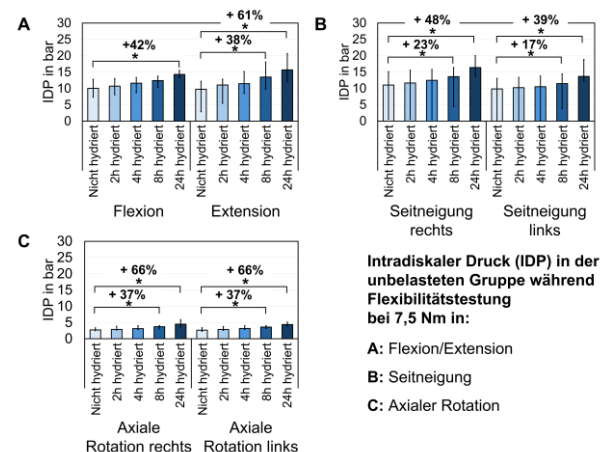


Abb. 1: Intradiskaler Druck (IDP) der unbelasteten Gruppe während Bewegung.

Diskussion: Unter geringer bzw. Erholungslast zeigen lumbale ovine BS nur eine geringe Hydrierungsfähigkeit, während bei aktiver Belastung keine Flüssigkeitsaufnahme messbar war, was darauf hindeutet, dass anhaltende Belastung die Rehydrierung mindert. Bei fehlender Belastung kommt es hingegen zu einer starken osmotisch bedingten Quellung, was zu erhöhtem IDP und geringerer Flexibilität führt. Diese Auswirkungen könnten die Übertragbarkeit experimenteller Daten auf In-vivo-Bedingungen beeinflussen. Zukünftige Studien sollen diese Ergebnisse an humanen Bandscheiben verifizieren.

Referenzen

1. Wilke et al., Spine, 24:755-62, 1999.
2. Reitmaier et al., PloS One, 8:e69610, 2013.



INTEGRATING μ CT-BASED GEOMETRY INTO BIOMECHANICAL TESTING OF BONE PROPERTIES IN THE RAT MODEL

Marina Komrakova (1), Marius Staub (1), Kai O. Böker (1), Arndt F. Schilling (1), Wolfgang Lehmann (1), Stephan Sehmisch (1,2), Daniel B. Hoffmann (1)

1. Department of Trauma, Orthopaedic and Plastic Surgery, University Medical Center Goettingen, Germany

2. Department of Trauma Surgery, Hannover Medical School, University of Hannover, Germany

Introduction: Biomechanical testing provides essential insights into bone strength, yet parameters such as stiffness or ultimate load depend strongly on bone geometry. By integrating geometric data from micro-computed tomography (μ CT), structural values can be normalized to better reflect intrinsic material properties. This study applied μ CT-based geometric normalization to evaluate bone mechanical properties in ovariectomized (OVX) rats treated with selective receptor modulators raloxifen (RAL) and ostarine (OST).

Methods: Three-month-old female Sprague-Dawley rats (n=15 per group) were either not ovariectomized (NON-OVX) or ovariectomized (OVX). OVX rats were treated orally either with OST, RAL or with OST+RAL for 13 weeks [1]. Left femur and lumbar vertebral body 4 (L4) were tested using compression and fall-related bending tests, respectively (Fig. 1) [1]. μ CT-derived parameters (cross-sectional area (A), height (h), length (L) and cross-sectional moment of inertia (CSMI)) were used to calculate normalized values including ultimate stress and apparent Young's modulus [2,3].

Ultimate stress for L4 was calculated as: $\sigma_{ult} = F_{ult}/A$ where F_{ult} = ultimate load (N) and A = cranial plate A (mm^2). Young's modulus for L4 was $E = (k \cdot h)/A$ where k = stiffness (N/mm), h = vertebral body h (mm) (Fig. 2). For the femur, CSMI was estimated by approximating the femoral neck A as an ellipse: $CSMI = (\pi/4) \cdot (D_{maj}/2)^3 \cdot (D_{min}/2)$ where D_{maj} and D_{min} are the periosteal major and minor diameters (mm). Bending moment at the femoral neck: $M = (F_{ult} \cdot L)/4$ where L = neck L (mm). Section modulus: $Z = CSMI/D_{maj}/2$. Ultimate stress: $\sigma_{ult} = M/Z$, and apparent Young's modulus: $E = (k \cdot L^3)/(48 \cdot CSMI)$ (Fig. 2).

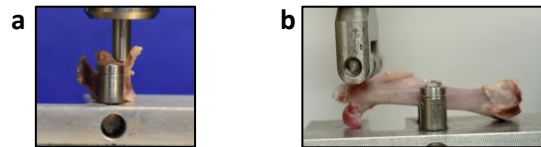


Fig. 1: Biomechanical tests of L4 (a) and femur (b)

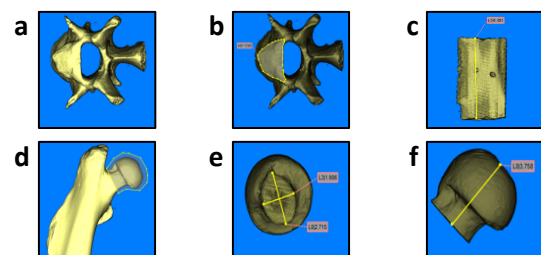


Fig. 2: μ CT images (a,d). L4: (b) cross-sectional area (A), (c) height (h). Femoral neck: (e) major (D_{maj}) and minor (D_{min}) diameter, (f) length (L)

Results: Stiffness in L4 and F_{ult} in the femur were reduced in OVX compared with NON-OVX rats. RAL and OST+RAL improved F_{ult} in femur, whereas OST had no effect. After normalization to μ CT-derived geometry, Young's modulus of L4 was lower in the OVX and OST groups than in NON-OVX, while σ_{ult} was lower than in the RAL and OST+RAL groups. In femur, σ_{ult} was the highest in the OST+RAL group, exceeding all other groups [1].

Discussion: μ CT-based geometric normalization enhanced biomechanical interpretation by distinguishing geometry-related effects from tissue-level properties and revealed the superior OST+RAL effect over single treatments. This approach could be useful in experimental bone studies.

References

1. Hoffmann et al, Calcif Tissue Int, 116, 2025.
2. Turner et al, Bone, 14:595-608, 1993.
3. Schriefer et al, J Biomech, 38:467-75, 2005



SINGLE VS. DOUBLE PLATING IN LOW TRANSVERSE SACRAL FRACTURES – A BIOMECHANICAL STUDY

Julia Rudek , Richard Lindtner, Romed Hörmann, Werner Schmölz
Medical University of Innsbruck, Austria

Introduction: High transverse sacral fractures (HTSF) are rare fracture types. Low transverse sacral fractures (LTSF) are even less common. Whereas studies have been carried out on HTSF, including biomechanical studies and case reports, no biomechanical studies have been conducted on LTSF. The goal of surgical fracture treatment is to achieve full weight-bearing and stability. Currently, there is no specific implant for this fracture type and there are no data or guidelines for stabilization. The purpose of this study was to compare fracture stabilization with single or double plating with currently available implants.

Methods: 20 fresh frozen human cadaveric sacra were evenly distributed in two groups with comparable BMD and age. A low transverse sacral fracture was created through the S3 foramina. Two commercially available implants of other fracture entities were applied. One group was stabilized with single plating (SP) with four 4.0 mm screws, the other one with double plating (DP) with four 2.7 mm screws in each plate. Using a material testing machine cyclic axial loading resulting in a bending load was applied to the sacrum: The initial load was oscillating between 5 to 10 N, while the upper load magnitude was increased by 5 N every 50 load cycles until construct failure. Different failure criteria for the fracture fragment motion were evaluated.



Fig. 1: Single plating vs. double plating



Fig. 2: Specimen mounted on the table of the material testing machine

Results: Double plating with 4 screws each appears to be significantly more stable and reaches higher loads until failure than single plating with 4 screws. A displacement of 5 mm was observed at 212 cycles $\pm 148,2$ (30 N $\pm 13,9$) in SP and 865 cycles $\pm 290,8$ (94 N $\pm 28,7$) in DP.

A displacement of 7,5 mm occurred at 325 cycles $\pm 220,9$ (40 N $\pm 21,7$) in SP and 944 cycles $\pm 289,8$ (102 N $\pm 27,3$) in DP and 10 mm at 416 cycles $\pm 285,7$ (49 N $\pm 28,3$) in SP and 1005 cycles $\pm 319,4$ (108 N $\pm 31,4$) in DP.

The tilting of the fracture gap was 9,5° at 5 mm, 14° at 7,5 mm and 18,4° at 10 mm. The results were consistent and statistically significant for all three criteria, with a p-value of $< 0,001$.

Discussion: Double plating with 4 screws each resisted higher loads with less displacement before failure. However, adaption of the single plating implant to also encompass 8 screws may be desirable in a newly designed implant for this fracture entity and provide higher stability and durability.



IN VIVO BELASTUNG INDUZIERT ORTSSPEZIFISCHE, TEILWEISE REVERSIBLE GEWEBEANPASSUNG IN KAUDALEN WIRBELKÖRPERN

Cosima Erhard (1,2), Tobias Thiele (1,2), Aysha Bonell (1,2), Melih Ö. Celik (3) Georg N. Duda (1,2,4)

1 Julius Wolff Institut, Berlin Institute of Health at Charité, Berlin, Deutschland, 2 BIH Center for Regenerative Therapies, Charité, Berlin, Deutschland, 3 Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin CBF, Charité, Berlin, Deutschland 4 Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Charité, Berlin, Deutschland

Einleitung: Mechanische Belastung gilt als möglicher Einflussfaktor bei strukturellen Veränderungen der Wirbelsäule und wird im Klinikalltag häufig mit Rückenschmerzen in Zusammenhang gebracht [1,2]. Die zugrundeliegenden Anpassungsmechanismen sind bislang aber unzureichend verstanden. Während belastungsinduzierter Knochenumbau in Röhrenknochen gut dokumentiert ist, ist unklar, ob vergleichbare Prozesse auch in Wirbelkörpern auftreten [3]. Diese Studie untersucht, ob kaudale Mauswirbel auf definierte axiale Belastung mit strukturellen Veränderungen reagieren und ob diese nach einer Entlastungsphase reversibel sind.

Methoden: Weibliche C57BL/6-Mäuse wurden randomisiert einer Belastungs- oder Kontrollgruppe zugeteilt. Die mechanische Belastung erfolgte über Titanpins in den kaudalen Wirbeln 5 und 7, wodurch eine axiale, zyklische Kompression (10 Hz, 5 Minuten/Durchlauf, 3× pro Woche über vier Wochen) im 6. Wirbelkörper ermöglicht wurde, gefolgt von einer vierwöchigen Erholungsphase. Die Knochenarchitektur wurde longitudinal mittels in vivo Mikro-CT (μ CT; MILabs U-CT xuhr) erfasst. Bildregistrierung und -verarbeitung erfolgten halbautomatisiert in Zusammenarbeit mit der Xploraytion GmbH. Zusätzlich wurden Schnittpräparate zur Darstellung von Kollagenstruktur und Gefäßarchitektur histologisch analysiert.

Ergebnisse: Die μ CT-Bildgebung zeigte ausgeprägte, regionsspezifische Anpassungen an mechanische Belastung. Insbesondere in den distalen Bereichen kam es zu verstärkter Knochenneubildung und verminderter Resorption (Abb. 1). Teilweise persistierten die Anpassungen auch nach Wegfall der Belastung, was auf eine partielle Reversibilität hinweist. Die Bildregistrierung ermöglichte eine differenzierte Analyse des aktiven Umbaus nahe der Endplatten,

der histologisch durch Gefäßeinsprossungen und einwandernde Osteoprogenitorzellen bestätigt wurde.

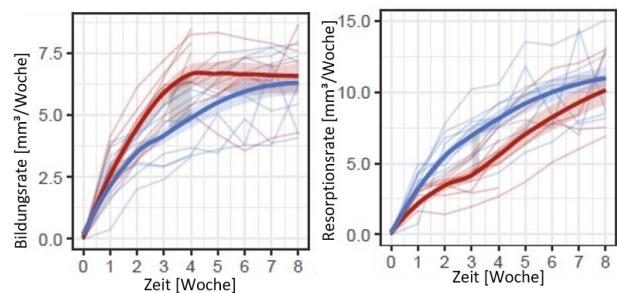


Abb. 1: Knochenbildungs- und resorptionsraten des 6. kaudalen Wirbelkörpers im distalen Bereich. Die belasteten Mäuse (rot) zeigen über den gesamten Zeitraum von 8 Wochen eine erhöhte Bildungsrate im distalen Bereich, während der Knochen der Sham-Tiere (blau) vermehrt resorbiert wird.

Diskussion: Die vorliegenden Ergebnisse belegen eine zeit- und regionsspezifische Anpassung kaudaler Wirbelkörper an mechanische Belastung, mit ausgeprägter Reaktivität insbesondere im Bereich der Endplatten. Die Knochenanpassungen sind während einer anschließenden Erholungsphase nur bedingt reversibel. Zukünftige Analysen sollen die Umbauprozesse in den Endplatten systematisch in kortikalen und trabekulären Knochen trennen und mit detaillierten histologischen Färbungen ergänzen.

Danksagung: Die μ CT-Analysen erfolgen in Zusammenarbeit mit der Xploraytion GmbH. Diese Forschung wird von der DFG gefördert und ist Teil der Forschungsgruppe FOR 5177.

Referenzen

1. Von der Lippe et al, J Health Monit, 6(Suppl 3):2-14, 2021.
2. Vlaeyen et al, Nat Rev Dis Primers, 4(1):52, 2018.
3. Birkhold et al, Bone, 66:15-25, 2014.



LOCKERUNGSERKENNUNG VON HÜFTENDOPROTHESEN-STIELEN MITTELS KÖRPERSCHALLMESSUNGEN AN MEHREREN IMPLANTAT-POSITIONEN

Nico Graumüller (1), Franziska Geiger (2), Sascha Spors (3), Rainer Bader (2), Daniel Kluess (2), Christian Haubelt (1)

1. Institut für angewandte Mikroelektronik und Datentechnik, Universität Rostock, Deutschland; 2. Orthopädische Klinik und Poliklinik, Universitätsmedizin Rostock, Deutschland; 3. Institut für Nachrichtentechnik, Universität Rostock, Deutschland.

Einleitung: Um die Sensitivität und Spezifität der Lockerungserkennung von Hüftendoprothesen zu verbessern, wurden verschiedene Methoden vorgestellt [1]. Bei der Vibrationsmethode wird der Hüftstiel mechanisch angeregt, und die dabei entstehenden Vibrationen gemessen, um aus der resultierenden Frequenzantwort Rückschlüsse auf den Fixationsstatus des Stiels im Knochen zu ziehen. Auf Basis einer Vorstudie [2] wird davon ausgegangen, dass durch eine Kombination der Informationen mehrerer Beschleunigungssensoren entlang des Hüftstiels eine präzisere Erkennung des Fixationsstatus bestimmen werden kann als mit nur einem Sensor. Ziel dieser Arbeit war es, diese Annahme mithilfe eines realitätsnahen Modells zu überprüfen.

Methoden: Ein unzementierter Revisionshüftstiel (Prevision® Monobloc, Aesculap AG, Tuttlingen, Deutschland) wurde in einen ausgehöhlten künstlichen Femur implantiert. Unterschiedliche Lockerungszustände wurden simuliert, indem Schrauben am Femur [3] zunächst vollständig angezogen wurden und anschließend, beginnend vom proximalen bis zum distalen Ring (Abb. 1), schrittweise gelockert wurden. Dies erfolgte 20-mal hintereinander.

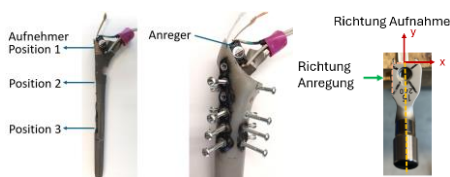


Abb. 1: Aufbau des realitätsnahen Modells.

Die Anregung erfolgte über einen exponentiellen Sinus-Sweep (500 Hz – 4 kHz) mit einem am proximalen Ende des Hüftstiels angebrachten Körperschallanreger. Die erzeugten Schwingungen wurden an drei Positionen mit insgesamt sechs Beschleunigungssensoren aufgenommen. Aus den

gemessenen Sweeps wurde durch Faltung mit dem Anregungssignal und anschließender Fouriertransformation die Frequenzantwort bestimmt. Für die Frequenzantworten wurde eine Hauptkomponentenanalyse im Frequenzbereich zwischen 2000 Hz und 3500 Hz durchgeführt.

Ergebnisse: Nach der Projektion der Sensordaten auf die ersten zwei Hauptkomponenten lassen sich die Lockerungszustände in Richtung der Anregung fast vollständig linear voneinander trennen (Abb. 2). Der Abstand der Datenpunkte bei den fünf Lockerungszuständen variiert in Abhängigkeit der Sensorposition.

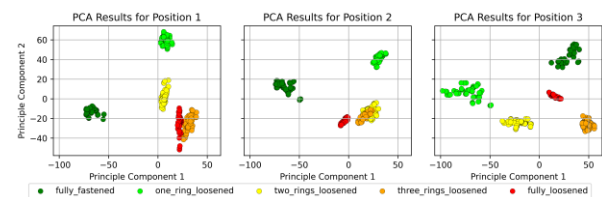


Abb. 2: Hauptkomponentenanalyse der Messung in x-Richtung in Abhängigkeit der Messpositionen.

Diskussion: Trotz Variationen zwischen den Frequenzantworten innerhalb einer Klasse zeigen die Ergebnisse, dass der überwiegende Anteil der Varianz innerhalb der Daten durch die unterschiedlichen Lockerungszustände erklärt wird. Auf Basis dieser Erkenntnisse sollen im Folgenden relevante Frequenzbänder sowie charakteristische Merkmale systematisch identifiziert werden. Ausgehend von den vorliegenden Ergebnissen soll zukünftig untersucht werden, in welchem Umfang die fusionierte Nutzung mehrerer Sensoren am Hüftstiel zur Verbesserung der Lockerungserkennung beiträgt.

Referenzen:

1. Cachão et al., Sensors, 20(1):104, 2019.
2. Schumacher et al., Sensors, 24(14):4594, 2024.
3. Sauer et al., IARIA Sensor devices Conf., 2012.



EINFLUSS VON KRAFTTRAINING DER OBERSCHENKELMUSKULATUR AUF DIE KniegelenksKINEMATIK UND -KINETIK BEIM GEHEN: EINE PILOTSTUDIE

J. Osterloh (1), N. K. Kietz (1), F. Knaack (1), M. Keibach (1), R. Bader (1), M. Behrens (1,2)

1. Universitätsmedizin Rostock, Forschungslabor für Biomechanik und Implantattechnologie, Rostock, Deutschland; 2. Fachhochschule für Sport und Management Potsdam, Potsdam, Deutschland

Einleitung: Individuelle Unterschiede in der Architektur des M. quadriceps femoris (QF) und der ischiocruralen Muskulatur (IM) stehen im Zusammenhang mit der Kniegelenkskinematik während des Gehens [1]. Sowohl High-Load-Resistance-Training (HLRT) als auch Low-Load-Resistance-Training mit Blutflussrestriktion (BFR-LLRT) kann die Muskelmasse und -funktion verbessern [2]. Inwieweit trainingsinduzierte Veränderungen des QF-Volumens mit Modulationen der Kniegelenkskinematik und -kinetik einhergehen, ist bislang kaum untersucht. Das Ziel dieser randomisierten kontrollierten Pilotstudie war es, den Einfluss verschiedener Krafttrainingsmodalitäten der Oberschenkelmuskulatur (HLRT, BFR-LLRT) auf die Knieflexionswinkel/-momente und die Muskelkräfte während des Gehens zu untersuchen.

Methoden: Sieben weibliche und sechs männliche Proband/innen (Alter: $23,1 \pm 2,8$ Jahre; BMI: $23,9 \pm 0,3 \text{ kg/m}^2$) wurden randomisiert einer von zwei Krafttrainingsgruppen (HLRT, BFR-LLRT) oder einer Kontrollgruppe (kein Training) zugewiesen. Vor und nach der 16-wöchigen Intervention wurde das Volumen des QF mittels Magnetresonanztomographie erhoben [3], eine instrumentierte Ganganalyse durchgeführt sowie Knieflexionswinkel/-momente und Muskelkräfte (QF, IM) mittels muskuloskelettaler Mehrkörpersimulation (AnyBody Technology V8.1, Aalborg, Dänemark) ermittelt [4]. Die statistische Auswertung erfolgte mittels Statistical Parametric Mapping (SPM) und einer ANOVA mit Messwiederholung, gefolgt von Post-hoc Tests bei signifikanter Gruppe*Zeit-Interaktion.

Ergebnisse: Für das QF-Volumen zeigte sich eine signifikante Gruppe*Zeit-Interaktion ($F_{2,6} = 10,31$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,67$). Die Post-hoc Tests indizierten eine mittlere QF-Volumenzunahme nach HLRT ($+148 \pm 86 \text{ cm}^3$, $p = 0,03$, $d = 0,27$) und BFR-LLRT

($+119 \pm 82 \text{ cm}^3$, $p = 0,20$, $d = 0,22$) im Gegensatz zur Kontrollgruppe ($-80 \pm 69 \text{ cm}^3$, $p = 1,00$, $d = -0,15$). Beim Gehen zeigte nur die QF-Muskelkraft eine signifikante Gruppe*Zeit-Interaktion (SPM, Abb. 1A). Obwohl die Post-hoc Tests keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen oder Zeitpunkten detektierten, wurden große Effektstärken für die Reduktion der QF-Muskelkraft von Prä- zu Postintervention nach HLRT ($d = 1,54$) und BFR-LLRT ($d = 1,83$) ermittelt. Es traten größere Unterschiede zwischen den Gruppen als zwischen den Messzeitpunkten auf (Abb. 1B).

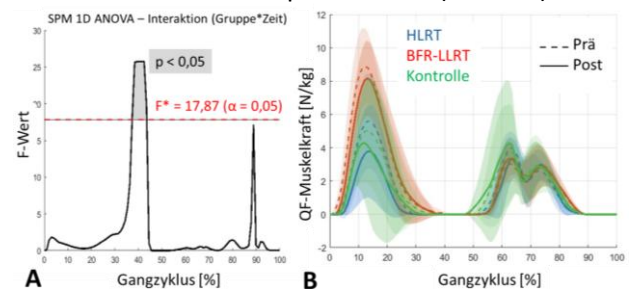


Abb. 1: Statistischer (A) und deskriptiver (B) Vergleich der QF-Muskelkraft während des Gangzyklus für die Prä- und Postinterventionsmessung der drei Studiengruppen.

Diskussion: Beide Trainingsformen zeigten eine tendenzielle Erhöhung des QF-Volumens und Verringerung der QF-Muskelkraft während des Gehens und deuten auf potenzielle funktionelle Anpassungen hin. Zur Bestätigung der These sind weiterführende Studien mit größeren Stichprobenumfängen erforderlich.

Hinweise: Diese Studie wurde finanziell unterstützt durch die Landesgraduiertenförderung M-V und der Deutsche Arthrose-Hilfe e.V.

Referenzen:

1. Jeong et al, Sci Rep, 13(1):20683, 2023.
2. Lixandrão et al, Sports Med, 48:361–78, 2018.
3. Shultz et al, J Orthop Res, 40(1):268–276, 2022.
4. Carbone et al, J Biomech, 48:734–41, 2015.



ADHESION ENHANCEMENT OF TITANIUM NANOTUBES ON Ti6Al4V: SCRATCH TEST EVALUATION

Adrian Buchholz (1), Vadym Voropai (1), Jessica Bertrand (1), Christoph Lohmann (1), Joachim Döring (1)

1. Experimental Orthopedics, Orthopedic University Hospital, Otto-von-Guericke-University Magdeburg, Germany

Introduction: Titanium Nanotubes (TNT) are a promising surface modification for titanium-based materials as they were shown to increase osseointegration [1], the specific surface area and can be used as an agent for localized drug delivery [1] to tackle the imminent PJI prevalence. Their application can be implemented easily and can be targeted locally. However, their coating adhesion remains as a critical factor effectively stopping their development and eventual implementation into orthopaedic implants due to the high mechanical requirements [2]. In literature, several approaches for improving coating adhesion were found, though no one has proven to be a sufficient gold standard yet.

Methods: Ti6Al4V alloy was surface-modified using anodization in ammonium fluoride-containing electrolyte to achieve TNT topography. Different variations to that process were tested (process time, applied potential, linear potential sweep, (electro-)chemical sample preparation), aiming at increased coating adhesion. The topography and thickness of the modified layer was analysed using SEM. The coating strength was assessed by scratch tests based on DIN EN ISO 20502 and evaluated using SEM (Fig.1).

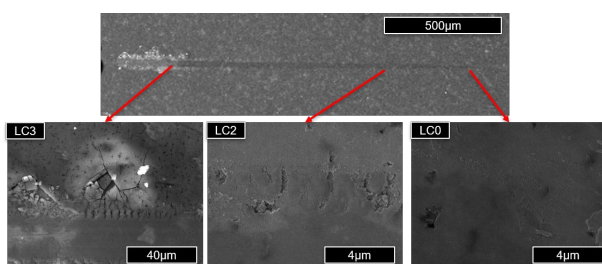


Fig. 1: SEM examination of scratch test acc. to DIN EN ISO 20502 with adapted critical loads (LC)

Results: The modified processes resulted in comparable surface quality and modification thickness with slightly more cracks. The scratch

tests showed an increase of critical loads for all alterations when compared to TNT produced by two-step anodization ("reference", Fig.2). The best results were achieved with chemical sample preparation and linear increase of potential (LC3 +150%).

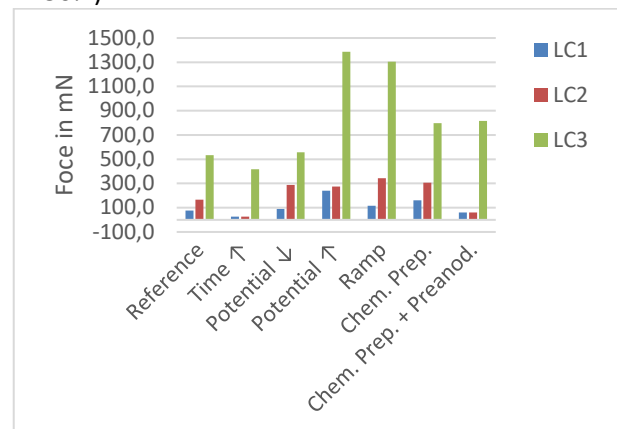


Fig. 2: Results of scratch tests for different process alterations

Discussion: Different approaches for improved TNT layer adhesion were evaluated in the same setup with promising results. However, compared to commercial HA-coatings, TNT adhesion is still outperformed by one order of magnitude. This highlights the need for better anodization techniques to increase the coating adhesion of TNT. Also, a test method with lower abstraction level is needed to assess the actual implication of these comparatively low coating adhesions in a clinical context.

Notes: This work is funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (funding program "ZIM", project number KK5303204BA3).

References

1. Fischer et al. 2025, Pathogens 14-1072
2. Bartkowiak et al. 2020, materials 13(22)



LONGITUDINALE ENTWICKLUNG VERSCHIEDENER GANGPARAMETER NACH SPRUNGGELENKSFRAKTUR: EINE FOLLOW-UP-ANALYSE VON 3 BIS 6 MONATEN POSTOPERATIV

Claudia Oestreich (1), Jan-Nikolas Rieken (1), Ditto Joseph (2), Christian Zeckey(1)

1. RoMed Klinikum Rosenheim, Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie Rosenheim – Bad Aibling, Deutschland; 2. RoMed Klinik Wasserburg am Inn, Unfallchirurgie, Wasserburg am Inn, Deutschland

Einleitung:

Sprunggelenksfrakturen zählen zu den häufigsten Gründen für die Vorstellung in einem Traumazentrum und machen etwa 9 % aller Frakturen aus [1]. Diese führen langfristig zu verschiedenen Veränderungen im Gangbild [2]. Ziel dieser Studie war es, mittels 3D-Ganganalyse 3 und 6 Monate postoperativ frühe funktionelle Veränderungen nach Sprunggelenksfraktur zu erfassen, um potenzielle Anzeichen langfristiger Gangveränderungen zu identifizieren.

Methoden: In die retrospektive Studie wurden 22 Patient:innen (51 ± 17 Jahre) mit operativ versorgter Sprunggelenksfraktur eingeschlossen. Nach offener Reposition und interner Fixierung erfolgte eine frühfunktionelle Nachbehandlung ohne Immobilisation mit schmerzlimitierter 20-kg-Belastung für 6 Wochen. Die Patient:innen erhielten 3 und 6 Monate postoperativ eine 3D-Ganganalyse mittels Inertialsensoren (Noraxon). Unterschiede zwischen der betroffenen und der nicht betroffenen Seite in den Parametern der Ganganalyse wurden mittels zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung untersucht. Signifikante Effekte wurden durch paarweise Post-hoc-Tests geprüft; die p-Werte wurden mittels der Benjamini-Hochberg-Methode korrigiert.

Ergebnisse: Die maximale Plantarflexion (PF) war auf der betroffenen Seite zu beiden Messzeitpunkten gegenüber der nicht betroffenen reduziert ($p < 0,00$; $p = 0,05$), verbesserte sich jedoch im zeitlichen Verlauf auf beiden Seiten ($p = 0,02$; $p = 0,04$). Die maximale Dorsalextension (DE) während der Standphase zeigte weder zwischen den Seiten noch über die Zeit signifikante Unterschiede. Der Bewegungsumfang (ROM) im Sprung- und Kniegelenk nahm auf beiden Seiten zu, ohne dass sich die Seiten signifikant unterschieden; die Knie-Exkursion bis zum ersten Maximum auf der betroffenen Seite verfehlte knapp das Signifikanzniveau ($p = 0,07$).

Diskussion: Die DE unterschied sich 3 Monate postoperativ nicht von der nicht betroffenen Seite und blieb bis 6 Monate unverändert, sodass keine frühen funktionellen Auffälligkeiten erkennbar sind. Die PF zeigt eine deutliche Verbesserung während der Rehabilitationsphase, bleibt jedoch auch nach 6 Monaten gegenüber der nicht betroffenen Seite eingeschränkt. Eine Studie zeigte, dass die PF selbst ein Jahr postoperativ weiterhin reduziert ist [3], was darauf hinweist, dass längerfristige Maßnahmen über 6 Monate hinaus erforderlich sind, um anhaltenden Gangveränderungen gezielt entgegenzuwirken.

Referenzen

1. Court-Brown CM, Caesar B. Injury. 2006 Aug;37(8):691-7.
2. Mirando M et al., Diagnostics (Basel). 2022 Jan 14;12(1):199.
3. Wang R et al., Gait Posture. 2010 Feb;31(2):234-40.



EXPLORING OPTIMAL BODY POSITIONING IN MTB GRAVITY SPORTS USING IMU DATA

Olesia Ronzon (1), Gerda Strutzenberger (1), Bernhard Hollaus (1)

1. Medical & Sport Technologies, Management Center Innsbruck, Austria

Introduction: Downhill mountain biking (MTB) requires precise full-body coordination to maintain balance and control during descents. Although wearable sensors now enable in-field kinematic assessment [1, 2], biomechanical strategies that distinguish faster from slower riders remain poorly understood. Understanding these strategies can improve riders' performance, coaching and injury prevention. This study aimed to identify full-body movement patterns associated with performance using IMU-based motion analysis and Principal Component Analysis (PCA).

Methods: Ten riders (7 m, 3 f; aged between 23 and 58 years) of three self-reported experience levels (2 beginner, 5 intermediate, 3 advanced) performed multiple downhill runs on the blue level trail *Kirschen Flowline* (Innsbruck, Austria). Each participant completed 3 to 5 valid runs (45–70 s each), resulting in 38 usable recordings. Riders wore fifteen wireless IMUs (Noraxon MyoMotion, 200 Hz) for full-body kinematic analysis. Each run was labeled fast or slow according to descent duration. Joint-angle data were segmented, filtered, temporally normalized, and analyzed through PCA to extract dominant patterns of variance. The components showing the largest variance differences between groups were selected for biomechanical interpretation. The results presented in the following section refer to one right-hand turn, selected as a representative example from the full dataset.

Results: Fast riders exhibited anticipatory and asymmetrical postural strategies during cornering. They entered the turn with the torso rotated outward and maintained greater lateral flexion ($6 \pm 2^\circ$) and forward inclination ($5 \pm 2^\circ$), particularly during the mid-to-late phase. Their head followed a proactive internal-to-neutral rotation at turn entry, indicating anticipatory gaze and vestibular alignment. The external shoulder was more flexed

($10 \pm 3^\circ$) and internally rotated ($15 \pm 4^\circ$), forming a wider, forward-leaning upper-body stance toward turn exit. Internally, the ankle displayed greater dorsiflexion ($8 \pm 3^\circ$) and abduction ($10 \pm 3^\circ$), lowering the heel and center of mass for improved traction, while the external leg showed higher hip flexion ($10 \pm 4^\circ$) to enhance lateral balance. Figure 1 visualizes these postural adaptations, comparing IMU based full-body skeletons of a fast and a slow rider during the representative turn to facilitate interpretation of the described movement pattern.

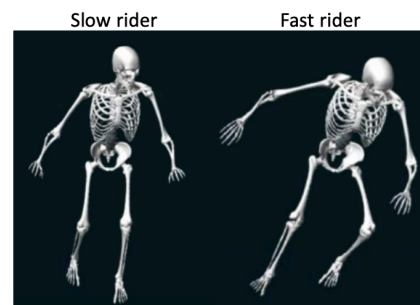


Fig. 1: Biomechanical adaptation during cornering of fast and slow riders.

Discussion: Fast riders demonstrated proactive upper-body control and functional limb asymmetry, enhancing stability and cornering efficiency. Early torso and head rotation likely facilitated visual-vestibular preparation, while a compact, lowered posture improved ground contact and overall balance. These results highlight anticipatory upper-body alignment and dynamic posture modulation as key biomechanical factors for downhill MTB performance and underline the value of wearable sensor analysis for quantifying performance in natural MTB settings.

References

1. J. B. Chidley et al., *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 10(2):183–190, 2015.
2. J. A. H. Virviescas et al., *Univ. de los Andes*, 2023. <https://hdl.handle.net/1992/73254>



EVALUATING HUMAN ACTIVITY RECOGNITION ALGORITHMS FOR WEIGHT-BEARING DETECTION FROM SMART INSOLES – AN ONGOING STUDY

Sergio C. Catalano (1,2), Uwe G. Kersting (1), Axel Kalpen (2)

1. Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Cologne, Germany;

2. Novel Biomechanics Laboratory, Munich, Germany

Introduction: Quantifying weight-bearing activity is essential to understand daily loading patterns and their biomechanical implications. While inertial measurement units (IMUs) are widely used for human activity recognition (HAR), plantar load-based systems provide direct insight into weight-bearing behaviour. Yet, existing insole-based HAR studies still depend on non-standardized hardware, use diverse analytical methods without shared datasets, and are evaluated mostly in controlled rather than real-world settings [1]. To address these limitations, this study benchmarks established HAR algorithms using a standardized, commercially available smart insole, the Loadsol (novel GmbH, Munich, Germany) with integrated IMU sensors, assessing their reliability for detecting weight-bearing activities in natural environments.

Methods: Twenty healthy adults will perform seven activities representative of daily life—walking, standing, sitting, jogging, stair ascent, stair descent, and non-weight-bearing periods—while wearing the instrumented insoles during free-living movement across a university campus. Ground-truth activity labels will be derived from concurrent motion capture with an XSens MVN Link system (Xsens Technologies B.V., Enschede, The Netherlands). Several supervised machine learning algorithms commonly used in HAR research (e.g., Support Vector Machines, Random Forests) will be trained and compared using plantar load data, IMU data, and their combination, like previous smart-shoe studies that explored comparable sensor setups and classification tasks [2][3]. Performance metrics such as classification accuracy, F1 score, and confusion matrices will be used to evaluate sensor modality contributions and robustness across activity types and terrains.

Results: Data collection is ongoing. Expected outcomes include comparative accuracy of different algorithmic approaches and the added value of sensor fusion between IMU and plantar load signals.

Discussion: This work will provide a systematic evaluation of activity recognition methods for plantar load data collected under realistic conditions, supporting the development of standardized datasets and robust algorithms for wearable biomechanics. In the long term, these findings will contribute to estimating cumulative plantar tissue stress and monitoring foot loading patterns relevant to mobility assessment and preventive care.

Notes: This work has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie Doctoral Network Grant Agreement No. 101073533.

References

1. D'Arco et al, *ACM Trans. Comput. Healthcare*, 5:4:1–4:34, 2024.
2. Nguyen et al, *IEEE Sensors Journal*, 18:5422–5428, 2018.
3. Sazonov et al, *IEEE Trans. Biomedical Eng.*, 58:983–990, 2011.



BE REAL: PREDICTING TREADMILL BELT SPEED CHANGES IN WALKING

Sophie Fleischmann (1), Björn M. Eskofier (1, 2), Anne D. Koelewijn (3)

1. Department Artificial Intelligence in Biomedical Engineering, FAU Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany; 2. Chair of AI-supported Therapy Decisions, LMU München, Munich, Germany; 3. Chair of Autonomous Systems and Mechatronics, FAU Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany

Introduction: Treadmill walking differs from overground walking for several reasons, one of which is the non-ideal behavior of the treadmill. Rather than maintaining a constant target speed, the treadmill belt velocity notably fluctuates over the course of a stride due to the human-belt interaction and limited control bandwidth of the treadmill [1]. The speed decrease is highest shortly after heel strike and has been suggested to depend on the participant's mass and walking speed and to be correlated to the magnitude of the anterior-posterior (AP) ground reaction force (GRF) [1, 2]. Even though the occurring speed changes have been described, their dynamics across the entire stride for an individual remain poorly understood. We propose a model that predicts the actual treadmill speed for the complete stride from a person's GRFs and desired speed, and can explain differences in speed patterns between individuals.

Methods: We model the speed change from human-belt interaction as a linear combination of the delayed change rate of AP and vertical GRFs. The counteracting speed change from the treadmill controller is modelled as a proportional-derivative (PD) controller, where the error signal is the difference between the actual and desired belt speed. The belt speed at each time point equals the current speed plus the sum of all gain-weighted terms. To validate this model, we experimentally recorded GRF and belt speed data of 9 participants (74.0 ± 14.3 kg) walking on a treadmill at four speeds. The data were filtered and gait-cycle averaged. We performed two leave-one-out cross validations, on speed and participants, by fitting the model parameters on the training data and evaluating the model on the held-out condition.

Results: We measured speed changes up to 5.1% of the desired speed. Our model generalized well to unseen speeds and participants, with mean root

mean square errors of 0.00242 ms^{-1} and 0.00244 ms^{-1} during testing, respectively. Despite variability in the measured belt-speed shape across individuals, and magnitude across speeds, the model could accurately reproduce the belt-speed profiles in both cases (Fig. 1). The AP GRF rate contributes 4.6 times more than the vertical GRF.

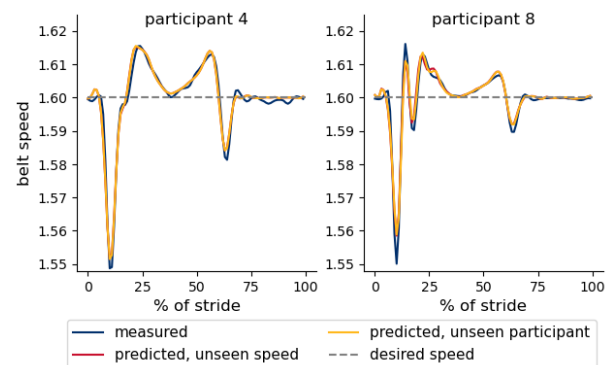


Fig. 1: Examples of measured vs. predicted speeds

Discussion: Our study is the first to explain and accurately predict intra-stride belt speed changes in treadmill walking. We show that, other than assumed before, the change depends on the rate of change of both vertical and AP GRF. The model can be integrated into predictive simulations to understand the effect of the non-ideal treadmill on gait dynamics. First simulation results showed that the speed change can explain certain differences between treadmill and overground gait. We want to use the model and simulation to understand if specific speed profiles are related to differences in joint loading and energy consumption.

Notes: This work was funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) – SFB 1483 – Project-ID 442419336, EmpinS.

References

1. Willwacher et al., Sci. Rep., 2021
2. Tielke et al., Sci. Rep., 2019



OSTEOSYNTHESIS SCREW FAILURE PREDICTED BY PERI-IMPLANT BONE MORPHOLOGY AND LOAD ANGLE USING MACHINE-LEARNING MODELS

Andreas Reisinger (1,2), Juan D. Silva-Henao (1,2), Anna De Cet (1,3)

1. Division Biomechanics, Karl Landsteiner University of Health Sciences, Krems, Austria; 2. Institute of Lightweight Design and Structural Biomechanics, TU Wien, Austria; 3. Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy

Introduction: Osteosynthesis screw failure at the screw–bone interface remains a clinical challenge. Prior work associated peri-implant trabecular morphology with screw holding capacity across axial, shear and mixed loading conditions, [1]. This study aims to translate these morphometric–mechanical relations into a machine learning model predicting screw failure based on underlying morphology.

Methods: Porcine bone specimens (n=100) were instrumented with 2.5 mm locking screws and tested in cyclic overloading under ten loading configurations (axial, shear, mixed). MicroCT was used to quantify peri-implant morphology (BV/TV, Ct.Th., Tb.Th., ...), (Fig. 1). Failure force F_{fail} was extracted from force-displacement data, [2].

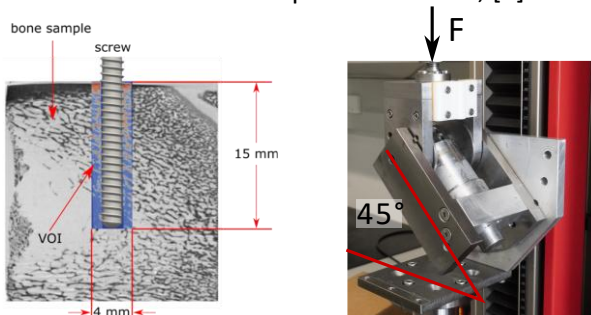


Fig. 1: (left) scanned bone sample with a screw implant, showing the VOI for uCT-analysis. (right) test-setup in 45° inclination (mixed loading).

A random-forest-regressor (RF) was trained with morphometric features and load configurations to predict F_{fail} . Monte-Carlo cross-validation, yielding R^2 , was used to assess model performance and to perform feature selection. Learning curve analysis aimed to detect the minimum sufficient amount of training data. Performance of RF was compared to linear regression models (LR) of different degrees.

Results: BV/TV and load angle emerged as the dominant predictors of F_{fail} across load cases. Including cortical thickness did not improve prediction accuracy. The RF model achieved strong predictive performance ($R^2 \approx 0.89$) and surpassed linear models, remained robust to feature selection, and performed well even with smaller training datasets ($n > 50$), (Fig. 2).

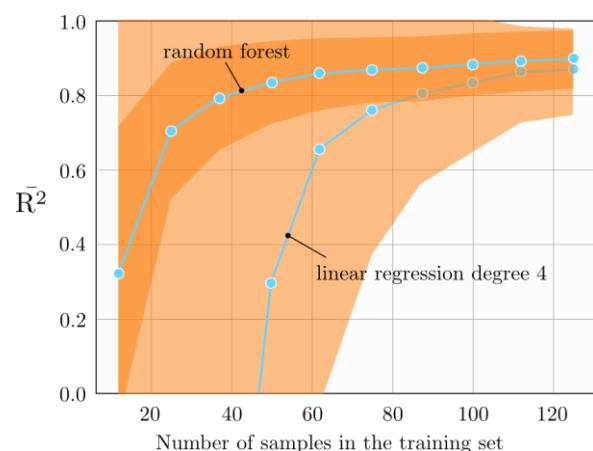


Fig. 2: RF vs. LR model performance expressed as cross validation R^2 over the size of the training set. Features are BV/TV and load angle.

Discussion: It was shown that peri-implant BV/TV and load angle provide a good pre-operative descriptor for predicting screw failure. Random forest machine-learning models outperform classical function regression approaches. The limited added value of cortical thickness remains to be investigated, [3]. Study limitations include reduced reliability for extrapolation beyond the morphometric range seen in training.

References

1. Silva-Henao et al., Med Eng Phys, 2022;103:103786.
2. Silva-Henao et al., Med Eng Phys, 126:104143
3. Seebeck et al., J Orth Res, 2004; 22:6, 1237–1242



BIOMECHANISCHE TESTUNG VON KABELKLAMMERIMPLANTATEN ZUR STABILISIERUNG DES VORDEREN BECKENRINGS IM ZWEIFEINSTANDVERSUCH

Justus Bremer (1,2), Nils Simon (2), Philipp Heilig (2), Max Heilig (3), Abdul Roman Al Refai (1), Stefanie Hölscher-Doht (2), Rainer H. Meffert (2), Martin C. Jordan (1)

1 Zentrum für Orthopädie, Unfallchirurgie und Rehabilitationsmedizin, Universitätsmedizin Greifswald, Fleischmannstr. 8, 17475 Greifswald, Deutschland;

2 Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-, Plastische und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Würzburg, Oberdürrbacher Str. 6 97080 Würzburg, Deutschland;

3 Klinik für Unfallchirurgie und orthopädische Chirurgie, BG Klinik Frankfurt am Main, Friedberger Landstraße 430, 60389 Frankfurt am Main, Deutschland;

Einleitung: Die optimale Behandlung einer Symphysensprengung des Beckens ist weiterhin Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion [1]. Während die Plattenosteosynthese derzeit als Standardverfahren zur Stabilisierung der Symphyse gilt, werden zunehmend alternative Fixationsmethoden untersucht [2]. Die Kabel-Klammer-Fixation stellt dabei eine potenzielle Option zur Stabilisierung der Symphyseninstabilität dar. Der klinische Nutzen des Verfahrens ist derzeit unklar, da es sich noch in der präklinischen Entwicklungsphase befindet. Erste *ex vivo*-Untersuchungen im Einbeinstand-Modell zeigten vielversprechende biomechanische Eigenschaften [3]. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde in der vorliegenden Studie die Primärstabilität des Implantats in einem Zweibeinstand-Modell weitergehend analysiert.

Methoden: An 24 synthetischen Becken wurden Symphysenrupturen simuliert und anschließend mittels einer Kompressionsplatte oder zweier Kabel-Klammer-Implantate stabilisiert. Die Prüfkörper wurden unter zyklischer Belastung von 200 N, 400 N und 600 N über insgesamt 9.000 Zyklen mithilfe einer Materialprüfmaschine und eines 3D-optischen Messsystems untersucht

Ergebnisse: Die Fixation der Symphyse mittels Kabel-Klammer-Implantaten führte unter axialer Belastung zu signifikant geringeren x-axialen Verschiebungen der oberen und unteren Symphyse in der optischen Messung als die

Plattenosteosynthese. Hinsichtlich der biomechanischen Parameter (Steifigkeit, totales Displacement, plastische Deformation, Peak-to-Peak-Verschiebung) ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Diskussion: Kabel-Klammer-Implantate zeigten unter axialer Belastung im Zweibeinstand eine effektivere Neutralisierung der x-axialen Bewegungen der Symphyse und könnten dadurch das Risiko eines Implantatversagens verringern. Im Gegensatz dazu wies die Symphyse mit einer singulären Plattenosteosynthese eine größere Beweglichkeit unter Belastung auf, was mit einem potenziell erhöhten Risiko für Schraubenlockerungen und Implantatversagen einhergehen könnte.

References

1. Pierce, T.P., et al., *Traumatic Diastasis of the Pubic Symphysis-A Review of Fixation Method Outcomes*. Surg Technol Int, 2016. **29**: p. 265-269.
2. Feng, Y., et al., *Percutaneous fixation of traumatic pubic symphysis diastasis using a TightRope and external fixator versus using a cannulated screw*. J Orthop Surg Res, 2016. **11**(1): p. 62
3. Jordan, M.C., et al., *Development and preclinical evaluation of a cable-clamp fixation device for a disrupted pubic symphysis*. Commun Med (Lond), 2022. **2**(1): p. 164



EINFLUSS NEUROMUSKULÄRER STIMULATION AUF THERMOGRAFISCHE VERÄNDERUNGEN DER RÜCKENMUSKULATUR WÄHREND LANGER SITZPHASEN

Antonia Lieshoff (1), Freddy Sichting (1)

1. Professur Bewegungswissenschaft in Prävention und Rehabilitation, TU Chemnitz, Chemnitz, Deutschland

Einleitung: Langes Sitzen im beruflichen Kontext stellt ein Problem für die öffentliche Gesundheit dar. Es kann zu Muskel-Skelett-Symptomen wie Schmerzen im unteren Rücken und erhöhter Muskelsteifigkeit führen. Es wird vermutet, dass die erhöhte Muskelsteifigkeit mit Veränderungen des Blutflusses aufgrund verminderter Muskelaktivität zusammenhängt. Der kausale Zusammenhang zwischen langem Sitzen und Veränderungen des Blutflusses ist jedoch nach wie vor weitgehend spekulativ. Das Ziel dieser Studie ist es, die Hypothese zu überprüfen, dass langes Sitzen die Durchblutung der Rückenmuskulatur verändert.

Methoden: Die Studienpopulation umfasste fünf gesunde Frauen und drei gesunde Männer (Durchschnittsalter: $24,68 \pm 3,91$ Jahre; BMI: $22,36 \pm 1,73$ kg/m²; Körperfettanteil: $18,56 \pm 10,00$ %), die keine muskuloskelettalen Erkrankungen hatten. Die Teilnehmer vermieden 24 Stunden vor der Studie intensive Aktivitäten und gaben ihre schriftliche Einverständniserklärung ab. Die Ethikkommission erteilte ihre Zustimmung (Nummer 101589500).

Zur Beurteilung von Veränderungen der Oberflächentemperatur kam die Infrarot-Thermografie zum Einsatz, eine nicht-invasive Methode zur Erfassung der Durchblutung. Zusätzlich wurde eine neuromuskuläre Elektrostimulation (NMES) durchgeführt, um die Muskelaktivität während längerer Sitzphasen systematisch zu verändern.

Alle Teilnehmer absolvierten drei 4,5-stündige Messtermine, bei denen sie alltägliche Schreibtischaufgaben durchführten. Diese wurden in die Kategorien „Kontrolle“ (keine NMES-Stimulation), „sensorische Stimulation“ (geringe NMES-Intensität) und „motorische Stimulation“ (höhere NMES-Intensität) eingeteilt, die den Teilnehmern nach dem Zufallsprinzip zugewiesen wurden. Die neuromuskuläre Elektrostimulation

wurde in 10-minütigen Intervallen für jeweils 5 Minuten durchgeführt, mit Ausnahme der Kontrollsitzen. Die Oberflächentemperatur wurde entlang der Brust- und Lendenwirbelsäule mittels Infrarot-Thermografie nach jeder Stimulation bzw. alle 15 Minuten in der Kontrollsitzen erfasst.

Ergebnisse: Bei allen drei Testbedingungen wurde ein konsistenter Temperaturanstieg entlang der Brust- und Lendenwirbelsäule beobachtet. Bemerkenswert ist, dass der Anstieg bei der Kontrollbedingung in beiden gemessenen Bereichen der Wirbelsäule signifikant größer war als bei der motorischen Stimulation: Brustwirbelsäule $+1,7$ K vs. $+0,8$ K und Lendenwirbelsäule $+2,0$ K vs. $+1,1$ K. Die sensorische Stimulation führte zu einem mittleren Anstieg der Hauttemperatur von $1,1$ K (Brustwirbelsäule) bzw. $1,3$ K (Lendenwirbelsäule).

Diskussion: Veränderungen der Hauttemperatur während des Sitzens können auf Veränderungen der Durchblutung hinweisen, die wiederum auf veränderte Muskelzustände zurückzuführen sind. Die Ergebnisse dieser Studie stehen im Einklang mit den Erkenntnissen der aktuellen Literatur zu Hauttemperatur und aktiven Pausen während längerer Sitzphasen [1]. Der beobachtete Anstieg der Hauttemperatur stützt die Hypothese, dass langes Sitzen zu Muskelverspannungen und Ermüdung führen kann. Die Ergebnisse der Stimulationsbedingung spiegeln möglicherweise Kompensationsstrategien wider, die durch regelmäßige Muskelaktivierung ausgelöst werden.

References

1. Sortino et al, J Clin Med, 13, 3178, 2024.



PILOTSTUDIE: ANALYSE INTRA- UND INTERINDIVIDUELLER EFFEKTE VON PLANTAR- UND KIEFERPROVOKATIONEN AUF SPATIO-TEMPORALE GANGPARAMETER

A. Wigger (1), A.-K. Becker (1), S. Kaya (1), J. Osterloh (1), N. K. Kietz (1), I. Soodmand (1), F. Knaack (1), F. Feldhege (2), Y. Su (2), D. Perchthaler (3), M. Kebbach (1), R. Bader (1)

1. Universitätsmedizin Rostock, FORBIOMIT, Rostock, Deutschland; 2. Universität Rostock, Institut für Sportwissenschaft, Rostock, Deutschland; 3. DIERS International GmbH, Wiesbaden, Deutschland

Einleitung: Die Haltung und Bewegung des Menschen werden durch komplexe muskuläre und skelettale Ketten beeinflusst, sodass lokale Veränderungen in einer Körperregion das gesamte Haltungs- und Gangsystem beeinflussen können. Frühere Studien untersuchten diese Zusammenhänge im Kiefer- [1, 2] und Plantarbereich [3, 4] unter statischen und dynamischen Bedingungen und zeigten dabei geringe, teils inkonsistente Veränderungen der Wirbelsäulenposition, Muskelaktivität und posturalen Stabilität. Ziel dieser Pilotstudie ist es, die intra- und interindividuellen Effekte verschiedener Plantar- und Kieferprovokationen auf spatio-temporale Gangparameter zu untersuchen.

Methoden: Mit vier Probandinnen (weiblich, Alter: $30,4 \pm 4,6$ Jahre, BMI: $22,2 \pm 1,5$ kg/m², Probandin 1 und 4 ohne, 2 und 3 mit craniomandibulärer Dysfunktion) erfolgte eine Ganganalyse am Gait Real-Time Analysis Interactive Lab (GRAIL, Motek Medical B.V., Niederlande) unter Verwendung des Human Body Model 2.0 Markermodells bei individueller, aber konstanter Gehgeschwindigkeit [5]. Im Vergleich zur Neutralbedingung ohne Provokation wurde der Einfluss von drei Plantarprovokationen (Pronation, Supination, Fersenkeil) sowie drei Kieferprovokationen (Aufbiss frontal, rechts, links), welche in randomisierter Reihenfolge ausgewählt wurden, untersucht. Die Auswertung der Gangparameter erfolgte mithilfe von MATLAB (The MathWorks Inc., Natick, MA, USA). Aufgrund der limitierten Stichprobengröße (N=4) wurde auf inferenzstatistische Analysen verzichtet.

Ergebnisse: Die Schrittlänge bei den Plantar- und Kieferprovokationen variierte interindividuell stark (Abb. 1). Intraindividuell zeigten die Provokationen eine Tendenz zur Veränderung der Schrittlänge, wobei die Provokation mit dem Fersenkeil im Mittel zur größten Schrittlänge ($1,34 \pm 0,06$ m) führte.

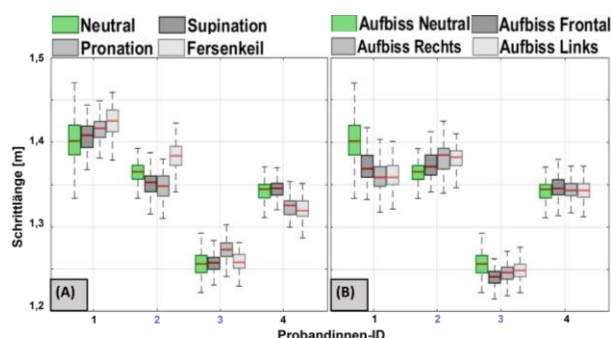


Abb. 1: Intra- und interindividuelle Variabilität der Schrittlänge unter Fuß (A) - und Kiefer (B) – Provokationen während des Gehens.

Diskussion: Die erhobenen Daten zeigen eine hohe inter- und intraindividuelle Variabilität des Ganges, sodass bei der geringen Stichprobengröße keine inferenzstatistisch gesicherten Gruppeneffekte ableitbar sind. Unterschiede zwischen den Probandinnen, teils mit CMD-Symptomen, deuten auf individuelle Kompensationsstrategien zur Stabilisierung der Schrittlänge hin. Deskriptiv zeigten die Plantarprovokationen, vor allem der Fersenkeil, stärkere Effekte, was möglicherweise auf individuelle Reaktionen einzelner Probandinnen zurückzuführen ist. Weitere Gangparameter (u.a. Schrittbreite) werden in einer detaillierteren Auswertung analysiert.

Hinweise: Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Projektförderung (FKZ: 16KN081073) und den Projektpartnern DIERS International GmbH, Seemann Zahntechnik GmbH & Co. KG sowie Mätzold Orthopädieschuhtechnik für ihre Unterstützung.

Referenzen:

1. Minervini et al, J. Clin Med., 12:2652, 2023.
2. Maurer et al, Med Eng Phys., 88:47-53, 2021.
3. Cote et al, J. Athl Train., 40:41-6, 2005.
4. Haowlader et al, Footwear Sci., 17:47-55, 2025.
5. Osterloh et al, Footwear Sci., 17:117–26, 2025.



COMPARISON OF GAIT VARIATIONS DURING FORWARD, SIDEWAYS, AND BACKWARD MOVEMENT BETWEEN NEUROLOGICAL PATIENT GROUPS AND A HEALTHY CONTROL GROUP

Jonathan Leander Knottnerus-Meyer¹, Kevin Wagner², Stefan Litzenberger², Robbin Romijnders¹, Walter Maetzler¹, Clint Hansen¹

Organization(s): 1: UKSH Kiel, Neurology, Neurogeriatrics, Kiel, Germany; 2: FH Technikum Wien, Austria

Introduction: Recent work provides a coherent foundation for examining multidirectional gait in neurological disease. The multidirectional gait database (1) offers a comprehensive set of forward, sideways, and backward walking data across several neurological conditions, enabling systematic comparison of directional gait variability. A subsequent literature review (2) highlights that backward walking is strongly associated with cognitive load and executive function in Parkinson's disease, suggesting that non-forward walking may reveal deficits linked to higher-order control processes. Complementing these findings, a prospective observational study (3) demonstrated that forward and backward walking parameters vary systematically across Parkinson's disease stages and severity levels, with backward walking showing greater sensitivity to disease progression. Together, these studies indicate that directional gait tasks provide valuable insight into both motor and cognitive components of gait impairment.

Methods: Building on this foundation, the present study investigates multidirectional gait in individuals with Parkinson's disease (n=34), multiple sclerosis (n=21), and healthy older adults (n=43) at the UKSH Motor Function Laboratory. In alignment with the published dataset, we extend the analysis to all diagnostic groups reported previously, allowing a broader evaluation of directional vulnerability across conditions. Participants completed standardized forward, lateral, and backward walking trials, with wearable sensors capturing spatiotemporal parameters such as stride-to-stride variability and timing asymmetry. Our working hypothesis is that neurological participants will exhibit disproportionately greater impairments during backward and lateral walking than during forward walking, and that this pattern will generalize across disease groups

Results:

Preliminary analyses support our expectation that non-forward walking tasks reveal disproportionately large gait disturbances in neurological disease. Across all participants examined so far, backward walking produces the most pronounced deviations in gait pattern. These alterations appear consistently larger than those observed during forward walking, indicating that backward locomotion challenges motor control in ways that expose underlying deficits more clearly. Lateral walking, while generally less impaired than backward walking, further uncovers disturbances in dynamic balance, coordination, and mediolateral stability. In contrast, healthy older adults show only modest directional differences, with gait patterns remaining relatively stable across all three walking directions. Taken together, these preliminary findings strengthen the notion that multidirectional gait assessment is necessary when evaluating neurological conditions.

Discussion: At the time of submission, the analysis is still ongoing. Additional diagnostic groups from the original dataset, as well as extended domain-specific metrics, are currently being processed. Final results, including full statistical outcomes and between-group comparisons, will be presented at the conference. The emerging evidence strongly indicates that multidirectional gait assessment provides a more comprehensive and ecologically valid characterization of neurological motor impairment than forward walking alone, with promising implications for fall-risk screening, disease monitoring, and targeted rehabilitation.

References

1. Warmerdam et al. Data, 2022
2. Correno et al. IJERPH, 19, 19, 2022
3. Milane et al. BMC Neurology, 25, 379, 2025



GIBT ES SEITENSPEZIFISCHE UNTERSCHIEDE IN DER BELASTBARKEIT VON PEDIKELSCHRAUBEN? VERGLEICH DER KNOCHENDICHTE MIT BIOMECHANISCHEN TESTUNGEN

Metzner, F. (1,2); Schleifenbaum, S. (1,2); Schultze J. (1); Kurz S. (1,2); Heyde, C.-E. (2,1); Pieroh P. (2)

1. ZESBO – Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Universität Leipzig, Leipzig
2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und plastische Chirurgie, Universität Leipzig, Leipzig

Einleitung: In einer radiologischen Studie von Lumbalwirbeln ist bereits eine Seitenabhängigkeit der Hounsfield-Einheiten (HU) innerhalb einzelner Wirbelknochen nachgewiesen worden [1]. Ziele dieser Studie ist die Überprüfung der Übertragbarkeit der radiologischen Daten auf das biomechanische Lockerungsverhalten von Pedikelschrauben.

Methoden: 10 thorakolumbale Wirbel von 5 Spendern (fresh-frozen) wurden entnommen und, mittels CT und beigelegten Mineralphantom untersucht. Für die radiologische Auswertung wurden drei wesentliche Regions-of-Interest (ROI) auf jeder Wirbelhälfte festgelegt (s. Abb.):

- I. gesamter Wirbel inklusive Kortikalis
- II. Spongiosa im Wirbelkörper
- III. Hüllzylinder um die Pedikelschraube und deren Hounsfield-Einheiten (HU).

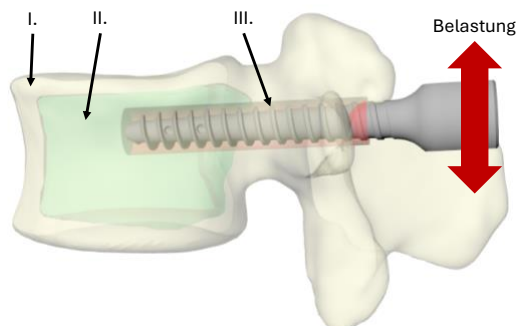


Abb.: ROI für die Auswertung der HU

Die Instrumentierung mit Pedikelschrauben erfolgte in traditioneller Trajektorie mittels Bohrschablonen. Alle Schrauben wurden in einem an die ASTM 1717 angelehnten Setup wechselseitig in Zug- und Druck Richtung belastet und die kranio-

kaudale Verkipfung der Schraube mittels optischen Messsystem erfasst. Für alle Parameter wurden die prozentualen Unterschiede zwischen linker und rechter Wirbelhälfte ermittelt und in die Gruppen „A“ (Differenz > 5%) und Gruppe „B“ (Differenz < 5%) eingeteilt.

Ergebnisse:

Tab.: Anzahl der Wirbel je Gruppe und mittlere relative Differenz zwischen linker und rechter Wirbelhälfte

Parameter	Gruppe A		Gruppe B	
	N	%Diff	N	%Diff
Kortikale HU	3	18,3	4	1,6
Spongiose HU	3	25,6	4	1,7
Pedikel HU	5	21,3	2	3,4
Druck (100N)	5	42,9	2	2,3
Zug (100N)	4	22,3	4	3,0

Diskussion: Seitenabhängige Unterschiede sind bei der Auswertung der Pedikel HU prominenter als bei den übrigen ROI. Im Vergleich zur biomechanischen Seitendifferenz wird die Differenz durch Analyse der radiologischen Daten tendenziell unterschätzt. Dies sollte bei der Auswahl des Studiendesigns biomechanischer Untersuchungen berücksichtigt werden, um ungewollte Datenverzerrungen zu vermeiden. Diese Erkenntnisse sind auch für die klinische Versorgung von Interesse.

References

[1] Metzner & Reise et al. RJ Spine Surg. 2024 Jun 21;10(2):232-243. doi: 10.21037/jss-23-121



VARIABILITY IN BIOMECHANICAL GAIT PARAMETERS OF A PERSON WITH A TRANSFEMORAL AMPUTATION – RESULTS OF A MULTICENTER STUDY

Michael Ernst (1), Eva Pröbsting (1), Veit Schopper (1,2), Thomas Schmalz (1), Malte Bellmann (1,3)

1. Clinical Research and Services,, Ottobock SE & Co. KGaA, Göttingen, Germany; 2. German Sport University Cologne, Germany; 3. HAWK University of Applied Sciences and Arts, Göttingen, Germany.

Introduction: Joint kinematics and kinetics naturally exhibit variability during walking [1]. Moreover, measurement methods introduce their own variability. While the reliability of marker protocols and models has been extensively studied in able-bodied subjects [2,3], research is lacking for individuals with unilateral transfemoral amputation (TFA).

Methods: As part of a multicenter study one TFA participated in total five times in a gait analysis, three sessions in Lab-A and one session each in Lab-B and Lab-C. Each laboratory was equipped with force plates and a 3D motion capture system. Level ground walking with three different self-selected speeds (normal, slow, fast) was measured and a 3D motion analysis performed afterwards. For each session, the range of motion (ROM) of the sagittal leg angles as well as walking speed, step length, stance phase duration and vertical ground reaction force (vGRF) were calculated. The variability of these parameters within and across sessions as well as the influence of the actual walking speed (regression models) were analyzed.

Results: Intra- and inter-session variability depends on the parameters and condition. E.g., during normal walking, the prosthetic side sagittal ankle and knee angles ranged from $25.1 \pm 0.4^\circ$ to $26.3 \pm 0.7^\circ$ and $67.2 \pm 0.8^\circ$ to $68.8 \pm 0.7^\circ$, respectively, in Lab-A, showing low intra-session variability. Sound side ankle and knee angles varied from $14.1 \pm 2.1^\circ$ to $17.9 \pm 1.6^\circ$ and $55.4 \pm 1.9^\circ$ to $61.3 \pm 1.9^\circ$ in Lab-A. Mean values from Lab-B and Lab-C were in the mean value range of Lab-A (figure 1). The smallest standard deviations were found for the prosthetic ankle and knee ROM (below 1°). Values for the sound side and the residual hip were generally higher (0.8 to 2.4°). Another finding is that strong correlations ($R^2 > 0.9$) exist between walking speed and step length, prosthetic ankle ROM, and sound side vGRF.

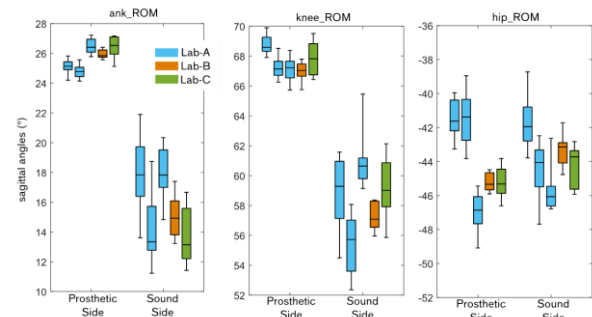


Figure 1: (A) Sagittal ankle, knee and hip ROM for both sides.

Discussion: The difference between mean parameter values of different sessions can be interpreted as a measure of the inter-session variability. These differences were in some cases larger than the mean standard deviations of the single sessions. Therefore, the between-session differences in some parameters reached statistical significance (post hoc tests), even though the conditions were similar. For some parameters, the variance can be reduced by taking walking speed (covariate) into account.

These findings should be considered when interpreting gait data of individual subjects or small groups e.g., when comparing different prostheses.

Notes: Thanks go to the external laboratories, Dr. Ursula Trinler (BG Clinic Ludwigshafen) and Prof. Dr. Harald Böhm (Aschau Treatment Center GmbH), as well as to the orthopaedic technical support at these locations.

References

1. Winter et al, Hum Mov Sci, 3:51-76, 1984
2. Collins et al, Gait Posture, 30:173-180, 2009
3. Prinsen et al, Gait Posture, 97Suppl.1:180-181, 2022



COMPARISON OF ON-SNOW KINEMATICS BETWEEN ABLE-BODIED AND PARALYMPIC CROSS-COUNTRY SKIERS – A CASE STUDY

Uwe G. Kersting (1), Leonie Hirsch (2), Walter Rapp (3), Ralf Rombach (4), Natalie Mrachacz-Kersting (2)

1. Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Cologne, Germany;
2. Institut für Sport und Sportwissenschaft, Universität Freiburg, Freiburg, Germany;
3. Olympiastützpunkt Freiburg-Schwarzwald, Freiburg, Germany;
4. Deutscher Behindertensportverband und Nationales Paralympisches Komitee, Frechen, Germany

Introduction: Biomechanical comparisons of paralympic and able-bodied sport disciplines can be challenging since in most cases paralympic athletes show highly individual handicaps. In cross country skiing, field testing is further challenged by variable surroundings, typically cold weather and changing environments such as slope, snow conditions, wind etc. Standing paralympic cross-country skiers have been compared to able-bodied in regard to race times and sub-technique selection in an outdoor setting [1] providing a basis for performance comparison. However, detailed joint kinematics comparisons have rarely been published but may be helpful in prosthesis design, adjustment or technique optimisation for the individual. Therefore the goal of this study was to assess full-body kinematics of an able-bodied and an unilaterally amputated cross-country athlete.

Methods: Two male athletes were included in this study. One was a right-side transfemoral amputee (equipped with Ottobock Genium X3), the other was able-bodied. They were equipped with a full-body IMU system (Xsens MVN Link, sampling frequency: 240 Hz, Movella Technologies B.V., the Netherlands). Both athletes were tested in an indoor cross-country skiing facility (Oberhof Germany) on a training course. The Xsens walking calibration was applied in the change area in ski boots, without skis. Subsequently, the athletes moved to the ski arena and executed five different sub-techniques for classic and skating, respectively.

We recorded all techniques at different self-selected speeds and uphill where possible. Joint kinematics were exported after applying the HD solver within the Xsens software. A custom MatLab script was applied to identify pole contact when the hand was at its highest position. A minimum of five consecutive cycles were identified, normalized to cycle time and average curves calculated (Fig. 1).

Results: Differences between athletes ranged from small for e.g. double poling to substantial for Herring bone in steep uphill sections. For the amputee asymmetries varied depending on the subtechniques used (Fig. 1).

Discussion: The results illustrate specific adaptations and asymmetries for the para athlete. It is currently investigated how the settings of the prosthetic can be optimised to maximise performance. Experience showed that the use of the Xsens system is feasible for on-snow assessments in para sports in future studies.

References

1. Carlsen, CH, Baumgart, JK et al. Sensors 2021, 21, doi: 10.3390/s21144876.

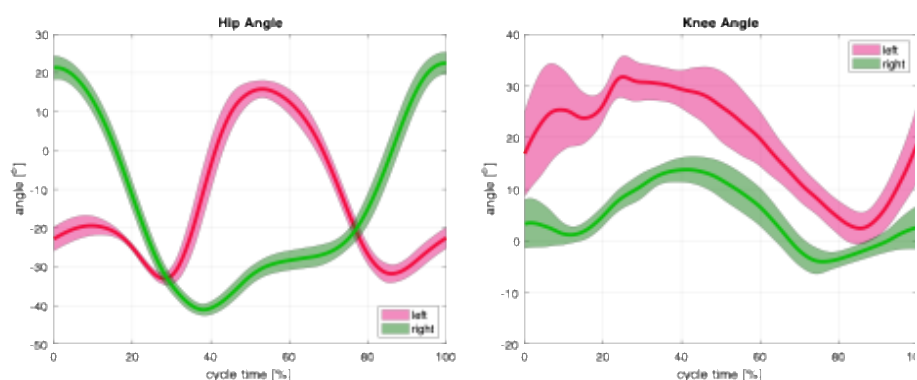


Figure 1: Example of Hip and Knee Angle for the amputee skier during medium intensity in diagonal stride. While knee joint action displays a similar pattern with a 20-degree offset, hip action shows distinct differences (time 0 is the start of ipsi- and contralateral cycle, respectively).



EXPERIMENTELLER AUFBAU ZUR QUASISTATISCHEN PRÜFUNG VON STERNUMFRAKTUREN MIT OSTEOSYNTHETISCHER VERSORGUNG

Lea Meissner (1), Matthias Münch (1), Kim-Lara Preissing (2), Stefan Schulz-Drost (3), Arndt-Peter Schulz (1, 4).

1. Zentrum für klinische Forschung, BG Klinikum Hamburg, Hamburg, Deutschland; 2. Medical School Hamburg, Hamburg, Deutschland; 3. Unfallchirurgie/Traumatologie, Helios Kliniken Schwerin, Schwerin, Deutschland; 4. Fraunhofer IMTE, Lübeck, Deutschland

Einleitung: Sternumfrakturen werden je nach Schwere der Fraktur operativ behandelt. Analysiert wurden Quer- (Typ I) und Schrägfrakturen (Typ II) des Sternums unter Verwendung zweier osteosynthetischer Plattensysteme: Platte A (KLS Martin Group, Tuttlingen, Deutschland) und Platte B (MedXpert GmbH, Eschbach, Deutschland) [1, 2].

Methoden: Zur Untersuchung des mechanischen Verhaltens von osteosynthetisch versorgten Sternumfrakturen wurden 48 synthetische Sternummodelle (Sawbones SKU-1025-40, Vashon, USA) mit definierter Quer- und Schrägfraktur unter quasistatischer Belastung getestet. Die Untersuchungen erfolgten in einer quasistatischen Universalprüfmaschine (ZwickRoell GmbH, Ulm, Deutschland) unter axialer Druckbelastung sowie Torsion. Die schematische Darstellung des vollständigen Versuchablaufes ist in Abb. 1 dargestellt.

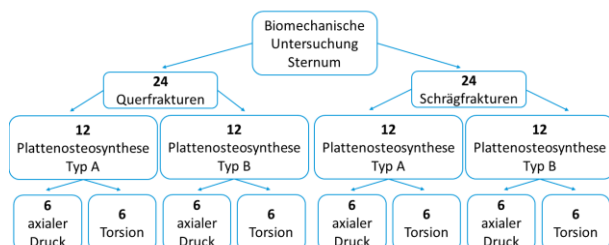


Abb. 1: Schematische Darstellung zur biomechanischen Untersuchung von osteosynthetisch versorgten Sternumfrakturen

Ergebnisse: Für die Versuchsdurchführung wurden die Sternummodelle mithilfe passgenauer, additiv gefertigter Adapter in zylindrischen Halterungen ausgerichtet, um eine reproduzierbare Positionierung und eine zentrische sowie rotationsfreie Krafteinleitung zu gewährleisten (Abb. 2). Sowohl kranial als auch kaudal wurden die

Modelle in Kardangelenken eingespannt, sodass eine axiale Ausrichtung sichergestellt wurde.

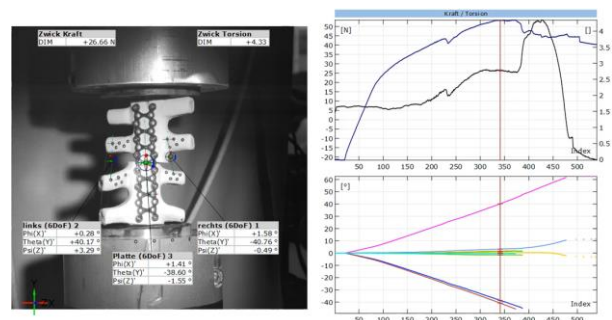


Abb. 2: Torsionsprüfung von Platte A mit Winkelangaben und Verlauf von Kraft und Torsionsmoment

Diskussion: Der Vergleich der beiden Osteosynthesysteme ermöglicht eine quantitative Bewertung ihrer strukturellen Stabilität und ihrer maximalen Belastbarkeit unter quasistatischer Belastung. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die biomechanische Untersuchung von Sternumosteosynthesen sowie für deren klinischen Anwendung.

Hinweise: Die in dieser Studie verwendeten Osteosyntheseplatten wurden von KLS Martin Group und MedXpert bereitgestellt.

Referenzen

1. David J. Cohen et al, A biomechanical comparison of three sternotomy closure techniques, Annals of Thoracic Surgery, 73-2, 563-568, 2002
2. Shruti Pai et al, In Vitro Comparison of Wire and Plate Fixation for Midline Sternotomies, The Annals of Thoracic Surgery, 80-3, 962-968, 2005



MUSCLE EXTENSION ANALYSIS FOR SOFT WEARABLE SYSTEMS DESIGN

Nataliya Sadretdinova, Jana Siegmund,

Klara Schuh, Ingrid Estefany Peraza Meléndez, Yordan Kyosev

TUD Dresden University of Technology, ITM, Chair of Development and Assembly of Textile Products
01062 Dresden, Germany

Introduction: Textile-based support garments rely on accurate biomechanical models to deliver effective assistance during human motion. A critical challenge lies in precise estimating muscle extension. While 4D motion capture systems provide high-resolution surface data, defining anatomically plausible muscle trajectories on dynamic meshes remains a challenging task. Using OpenSim software and Move4D motion capture data, we sought to identify which muscles are most actively involved in the target movement, and quantify their extension for designing textile-based support garments for people with illnesses, requiring motion support.

Methods: Motion data, captured via Move4D body scanner from a testing person performing a movement sequence, were imported into OpenSim. A subject-specific musculoskeletal model was adapted to match the individual marker set configuration. Key biomechanical parameters—including muscle force, fascicle length, tendon strain, and moment contributions—were extracted and analysed across the entire movement cycle.

Results: The OpenSim analysis identified muscles with maximum activation during the selected movement. For example, the *Musculus vastus lateralis* emerged as the most heavily loaded muscle by preparing sit-to-stand movements, generating a peak force of 5,116.14 N (illustrated in Fig. 1). This peak correlates with maximal muscle fibres extension. The temporal alignment of force maxima and length extrema was consistent across all analysed muscles, suggesting a tightly coupled relationship.

To validate the obtained results, we performed measurements associated with muscle positions on the mesh surface obtained from the Move4D scanning procedure. To enable this, we developed an algorithm for modelling muscle-related distances based on the Move4D in-built virtual markers (Fig. 2).

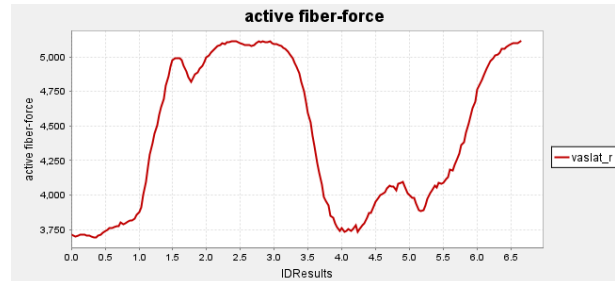


Fig. 1: Muscle fibre extension during the motion

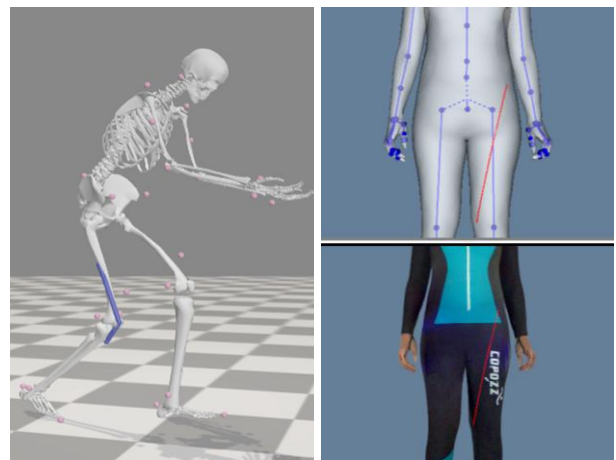


Fig. 2: *Vastus lateralis* length definition: OpenSim and Move4D approaches

Discussion: Precise localization of peak muscle forces and their directional vectors enable optimal placement of supportive elements in soft wearable systems, allowing accurate estimation of muscle fiber extension. By referring to the rules of producing garment patterns, the obtained anthropometric data can be key definitions to ensure assistive garment performance.

Notes: This Project KK5090922SA3 is supported by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWE) on the basis of a decision by the German Bundestag.

Dr. N. Sadretdinova expresses her gratitude to the Philipp Schwartz Initiative (PSI) of Alexander von Humboldt Foundation for funding her research stay.



REGIONAL SPATIAL ACTIVATION PATTERNS OF THE BICEPS FEMORIS LONG HEAD REMAIN CONSISTENT ACROSS JOINT ANGLES DURING ECCENTRIC KNEE FLEXION

Alexander Fassbender (1), Kiros Karamanidis (2,3), Wolfgang Potthast (1)

1. Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Cologne, Germany; 2. Department of Sport Science, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Koblenz, Koblenz, Germany; 3. School of Allied Health and Life Sciences, London South Bank University, London, UK

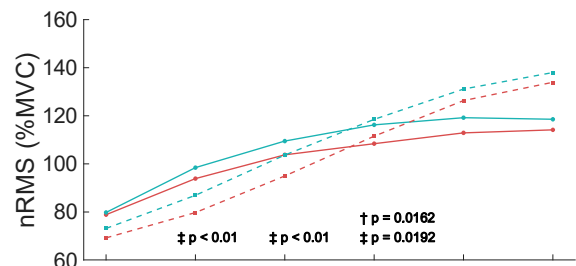
Introduction: High-density surface electromyography (HDsEMG) enables spatial assessment of muscle activation. During dynamic contractions, muscle movement beneath the skin may introduce errors in the assessment of activation patterns. This study examines whether proximal–distal activation differences in the biceps femoris long head (BFLh) change with knee angle during eccentric contractions. We hypothesize that regional differences in spatial activation patterns remain stable across knee flexion angles.

Methods: 12 healthy men (27.2 ± 3.6 years) performed maximal eccentric knee flexions at $40^\circ/\text{s}$ and $200^\circ/\text{s}$ on an isokinetic dynamometer. HDsEMG was recorded using two 8×4 electrode grids ($\sim 7.5 \times \sim 3.5 \text{ cm}$) over the proximal and distal BFLh. Normalized RMS amplitude (nRMS), modified entropy (ModEn, measure of spatial homogeneity of muscle activation [1]), and the center of activation (CoA) were computed for 10° angle bins between 20° and 80° knee flexion. Paired *t*-tests compared proximal and distal nRMS and ModEn for each velocity at each angle bin.

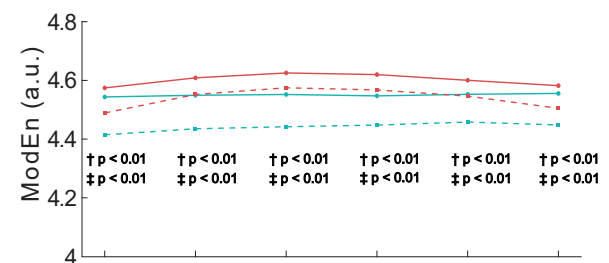
Results: Figure 1 shows nRMS and ModEn over the angle bins with Holm–Bonferroni–adjusted *p*-values. The magnitude of proximal–distal differences in ModEn remained consistent across joint angles and velocities, with all comparisons significant after correction. nRMS showed sporadic significance mid range of motion.

Discussion: The stability of regional ModEn differences and CoA across joint angles indicates that muscle movement under the skin does not distort regional activation patterns measured via HDsEMG. The modest changes in regional differences in nRMS correspond to the length-dependent activation patterns observed under isometric conditions [1], suggesting that variations in regional amplitude difference arise from physiological length effects rather than recording artifacts due to muscle movement relative to the recording electrodes.

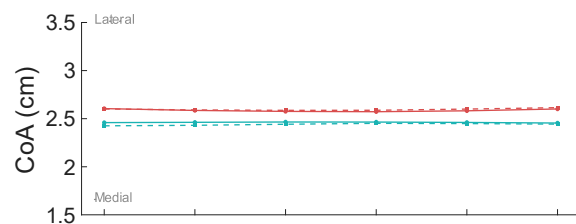
a) nRMS by Region and Velocity



b) ModEn by Region and Velocity



c) CoA in medio-lateral direction by Region and Velocity



d) CoA in cranio-caudal direction by Region and Velocity

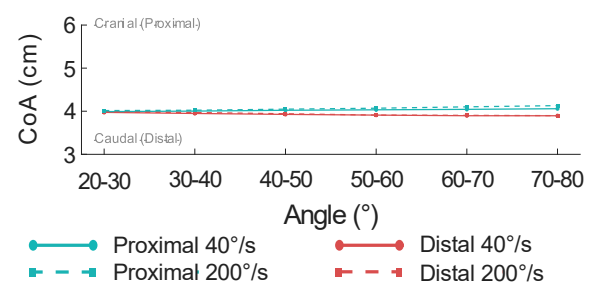


Figure 1. nRMS (a), ModEn (b) and CoA (c, d) over angle bins. † indicates regional differences at $40^\circ/\text{s}$, ‡ at $200^\circ/\text{s}$.

References

- Fassbender, A, Karamanidis, K, Potthast, W. 2025. *Eur J Appl Physiol.* 1–13.



ÜBERWACHUNG DER KNOCHENHEILUNG MITHILFE EINER SENSORENPLATTE (SMART IMPLANT) ÜBER EINEN ZEITRAUM VON ÜBER 11 JAHREN

Lea Meissner (1), Matthias Münch (1), Tobias Barth (1), Nils Weinrich (1), Arndt-Peter Schulz (1, 2)

1. Zentrum für klinische Forschung, BG Klinikum Hamburg, Hamburg, Deutschland; 2. Fraunhofer IMTE, Lübeck, Deutschland

Einleitung: Für die Überwachung von Knochenbrüchen können zukünftig instrumentierte Platten mit Sensoren (Smart Implant) eine Ergänzung zu radiologischen und klinischen Untersuchungen darstellen. Am BG Klinikum Hamburg wurde eine instrumentierte Osteosynthesenplatte entwickelt, um den Heilungsprozess durch eine indirekte mechanische Messung mittels Dehnungsmesssensoren (DMS) quantitativ zu messen [1]. Der Heilungsprozess von Pseudarthrosen des Femurs mit einem Smart Implant wurde durch telemetrische Messungen über einen Zeitraum von über 11 Jahren verfolgt.

Methoden: Das Smart Implant ist eine Osteosyntheseplatte (Litos/GmbH, Ahrensburg), die mit einer passiven Telemetrieelektronik und einem DMS ausgestattet wurde (Abb. 1).



Abb. 1: Modifizierte Osteosyntheseplatte mit eingebauter Telemetrieelektronik und DMS

Im Rahmen der Messung wurde ein externer Kraftsensor eingesetzt, welcher Echtzeitdaten zur aufgetragten Kraft im Verhältnis zur Implantatbelastung erfasste, um Rückschlüsse auf die Knochenheilung zu ermöglichen. Es wurden vier verschiedene Belastungsfälle durchgeführt: axiale Belastung im Liegen, Varus- und Valgus-Belastung sowie axiale Belastung im Stehen.

Ergebnisse: Als Maß für die Stabilität wurde die relative elastische Nachgiebigkeit der Osteosynthese aus dem Gradienten zwischen der aufgetragten äußeren Belastung und der gemessenen Implantatbelastung unter Verwendung des DMS bestimmt [2].

Die telemetrischen Messungen im Jahr 2025 (11,5 Jahre nach der Behandlung mit dem Smart Implant) zeigten einen Rückgang bei allen vier Belastungsfällen im Vergleich zu den Vorjahren.

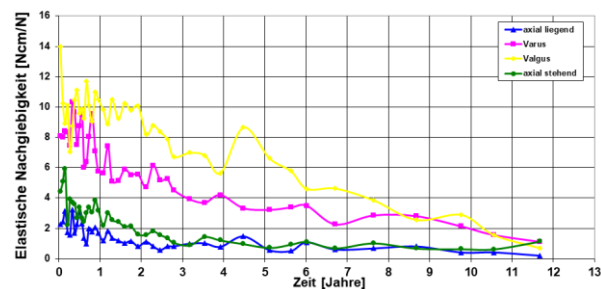


Abb. 2: Betrag der elastischen Nachgiebigkeit unter axialer Liege-, Varus-, Valgus und axialer Standbelastung über 11,5 Jahre

Diskussion: Der Heilungsprozess kann mithilfe eines Smart Implants erfolgreich überwacht werden. Es unterstützt Klinikpersonal bei der Entscheidungsfindung bezüglich der weiteren Durchführung chirurgischer Maßnahmen.

Hinweise: Der Patient hat sich bereit erklärt zu einer jährlichen Messung zu erscheinen, damit die langfristige Funktion eines solchen Implantats beurteilt werden kann.

Referenzen

1. Seide, K. et al, Telemetric assessment of bone healing with an instrumented internal fixator, J. Bone Jt. Trauma Surg., 94-B, 398-404, 2012
2. Faschingbauer, M. et al, Telemetrisch Instrumentierter Fixateur Interne für die Osteosynthese, Habilitationsschrift Lübeck, 2009
3. Schulz, A.P. et al, Long-Term Evaluation of Bone Healing Monitoring Using an Instrumented Plate with Measurement Sensors (Smart Implant) over 10 Years, Sensors, 25(18), 2025



TRETROLLERFAHREN ALS GELENKSCHONENDE ALTERNATIVE ZUM GEHEN UND LAUFEN? EIN VERGLEICH DER VERTIKALEN BODENREAKTIONSKRÄFTE

Lennart Rissiek (1), Freddy Sighting (1)

1. Professur Bewegungswissenschaft in Prävention und Rehabilitation, TU Chemnitz, Chemnitz, Deutschland

Einleitung: Das Tretrollerfahren ist eine zyklische Fortbewegungsform, die im Alltag, im Sport sowie in therapeutischen Anwendungen eingesetzt werden kann. Die abwechselnde Belastung von Stand- und Schwungbein und die aufrechte Körperhaltung ähneln dem Gehen und Laufen – Bewegungen, für die der menschliche Bewegungsapparat evolutionär angepasst ist [1]. Es wird vermutet, dass Tretrollerfahren als natürliche, gelenkschonende und alltagsnahe Bewegungsform gilt. Trotz dieser Parallelen fehlen bislang belastbare bewegungswissenschaftliche Untersuchungen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher ein erster Vergleich der vertikalen Bodenreaktionskräfte beim Tretrollerfahren mit denen beim Gehen und Laufen.

Methoden: In einer explorativen Pilotstudie wurden vier gesunde Erwachsene ($m = 3$, $w = 1$) untersucht. Jede Versuchsperson absolvierte die Bedingungen Gehen (G), Laufen (L) und Tretrollerfahren (T) bei selbstgewählter Geschwindigkeit in jeweils fünf Wiederholungen innerhalb eines Messtermins. Die Analyse bezog sich in allen Bedingungen auf dasselbe Bein: Beim Gehen und Laufen auf das linke Bein sowie beim Tretrollerfahren auf das jeweils als Schwungbein eingesetzte linke Bein. Die Bodenreaktionskräfte wurden über in den Boden integrierte Kraftmessplatten (Kistler, Winterthur, Schweiz) erfasst.

Ergebnisse: Wie in Abbildung 1 zu sehen, traten beim Tretrollerfahren mit 8,4 km/h deutlich geringere maximale vertikale Bodenreaktionskräfte auf ($904,4 \text{ N} \pm 134,6 \text{ N}$) als beim Gehen mit 6,0 km/h ($1088,3 \text{ N} \pm 217,5 \text{ N}$) und beim Laufen mit 9,5 km/h ($1967,3 \text{ N} \pm 348,1 \text{ N}$). Die Bodenkontaktzeit beim Tretrollerfahren war mit $0,38 \pm 0,07 \text{ s}$ vergleichbar zum Laufen ($0,28 \pm 0,02 \text{ s}$) und geringer als beim Gehen ($0,62 \pm 0,02 \text{ s}$).

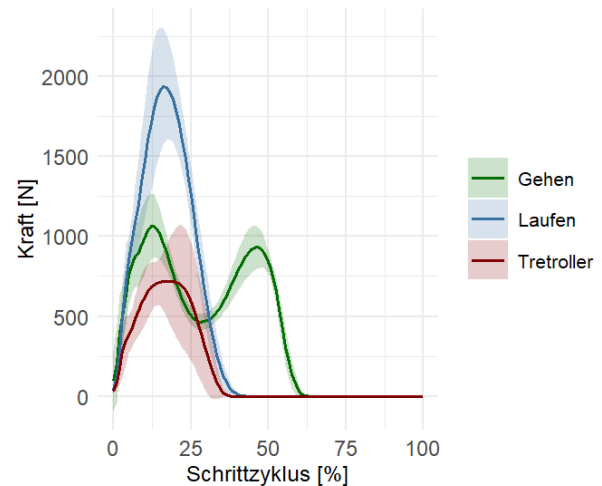


Abb. 1: Vertikale Bodenreaktionskräfte beim Gehen, Laufen und Tretrollerfahren.

Diskussion: Die deutlich geringeren vertikalen Bodenreaktionskräfte beim Tretrollerfahren im Vergleich zum Gehen und Laufen bei vergleichbaren Geschwindigkeiten weisen auf eine geringere mechanische Belastung der Gelenke der unteren Extremitäten hin. Diese Ergebnisse legen nahe, dass Tretroller eine praktikable und gelenkschonende Alternative für Rehabilitations- und Sportanwendungen darstellen könnten. Da die Gelenkbelastung jedoch auch durch segmentale Kinematik und Muskelaktivierungsmuster beeinflusst wird [2], sollten inverse Dynamik und Elektromyographie in zukünftigen Studien berücksichtigt werden, um die internen Belastungsmechanismen aufzuklären.

Referenzen

1. Bramble DM, Lieberman DE, Nature, 432(7015):345–352, 2004.
2. Altai Z et al, JBMR Plus, 8(11):ziae119, 2024.



VERGLEICHENDE MESSUNG DES EINFLUSSES VERSCHIEDENER SÄTTEL AUF DIE LANDEPHASE BEIM SPRINGREITEN MIT INERTIALEN MESSEINHEITEN

Antonia Flade (1), Frédéric J. Marin (2), Christoph K. W. Mülling (1), Franziska C. Wagner (1)

1. Veterinär-Anatomisches Institut, Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland; 2. Bewegungswissenschaft in Prävention und Rehabilitation, Institut für Angewandte Bewegungswissenschaften, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, Deutschland

Einleitung: Das Kernelement des Springreitens ist das Überwinden von Sprüngen, das in die Phasen Absprung, Flugphase und Landung unterteilt werden kann [1]. Der Sattel bildet eine wichtige Schnittstelle zwischen Reiter und Pferd [2]. Während der Einfluss des Sattels auf die Bewegungsabläufe des Absprunges bereits untersucht wurde [3], fehlen bislang vergleichbare Daten für die Landephase.

Ziel dieser Untersuchung ist es, den Einfluss des Sattels auf die Kinematik der Landephase beim Springreiten mit Inertialen Messeinheiten zu untersuchen.

Methoden: Untersucht wurden 15 Pferde mit internationaler Turniererfahrung bis zur schweren Klasse, die von ihrem Reiter (insgesamt $n=2$, männlich, internationale Erfolge bis zur schweren Klasse) wiederholt über einen Steilsprung von 1,20 m geritten wurden. Randomisiert wurden ein konventioneller Sattel, ein Sattel mit luftgekammerten Sattelkissen und ein Sattel mit integriertem Stoßdämpfungsmechanismus verglichen.

Um die kinematischen Aspekte der Bewegung zu erfassen, wurden fünf Inertiale Messeinheiten (1600 Hz, $\pm 200g$, Vicon Blue Trident®) jeweils an der lateralen Hufwand der Vordergliedmaßen, am Sternum, der Sattelmückenseite und der Lendenwirbelsäule des Reiters angebracht (Abb. 1).

Ergebnisse: Es konnte gezeigt werden, dass die maximale Beschleunigung des Reiters im Sattel mit integriertem Stoßdämpfer-System 12,5 ms später als im konventionellen Sattel auftritt und dieser Unterschied statistisch hochsignifikant ist ($p = 0,00$ Signifikanzniveau $p = 0,05$).



Abb. 1: Vicon Blue Trident [4] (links); Position der Inertialen Messeinheiten am Pferd (rechts)

Diskussion: Die Ergebnisse zeigen, dass ein eingebauter Stoßdämpfungsmechanismus das vermutete Funktionsprinzip einer Feder erfüllt und aus biomechanischer Sicht in einer verzögerten Bremsbewegung des Reiter-Sattel-Komplexes resultiert. Möglicherweise führt dies zu einem vergrößerten Maß an Bewegungsfreiheit im Schulterbereich, die das Vorführen der Vordergliedmaßen erleichtert. Zur Validierung dieser Aussage sind weitere Studien notwendig, um insbesondere den Einfluss des Reiters und den Aspekt der Gewöhnung an den Sattel genauer zu erfassen.

Hinweise: Die Studie wird gefördert von der Joan-Mahedi-Stiftung.

Referenzen

1. Clayton, EVS, 9:341-248, 1989
2. Murray et al, Animals, 13:2127, 2023
3. Murray et al, CEP, 14:239-248, 2018
4. Abb. 1, links: Vicon Blue Trident sensor axes
URL: <https://logemas.com/knowledge-base/faq/vicon-blue-trident-axes/> (vom 14.11.2025)



ZEHN JAHRE EXPLANTATREGISTER FÜR ENDOPROTHESEN – NUTZEN, EVIDENZ UND PERSPEKTIVEN

Linda Stange (1), Sebastian Jäger (1), Therese Bormann (1) und J. Philippe Kretzer (1)

1. Sektion für Biomechanik und Implantatforschung, Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

Einleitung: An der Klinik für Orthopädie am Universitätsklinikum Heidelberg wurde ein Explantatregister für Endoprothesen (Schwerpunkt Hüft-, Knie- und Schulterersatz) aufgebaut und etabliert mit mittlerweile über 3.000 erfassten Explantaten. Aufgabe des Registers ist die wissenschaftliche Aufarbeitung des Implantatverhaltens und ggf. auch -versagens unter realen Bedingungen. Außerdem gewährleistet es einen geregelten Umgang mit Explantaten im klinischen Alltag. Durch den Zugriff auf Patientendaten kann die Explantatanalyse um patientenspezifische Faktoren ergänzt werden, was einen erweiterten Einblick in das Zusammenspiel von patienten- und implantatspezifischen Faktoren gestattet. Ziel dieses Beitrages ist eine Bewertung von Nutzen und Aufwand eines solchen Registers sowie die Einordnung der entstandenen Evidenz nach zehnjährigem Registerbetrieb.

Methoden: Zwischen 2015 und 2025 wurden n=3.223 Explantate (Hüfte ≈ 54 %, Knie ≈ 37 %, Schulter ≈ 8 %, OSG 1%) aus der Klinik für Orthopädie am Universitätsklinikum Heidelberg asserviert, dokumentiert und archiviert. Voraussetzung hierfür ist die Einwilligung des Patienten, die in 88 % der Fälle erteilt wurde. Erfasst werden primär die Art der Prothese, Anzahl der Komponenten sowie Größe und Material der Implantate. Basierend auf diesen Daten und in Abhängigkeit von konkreten Fragestellungen erfolgen ergänzende material- und designbezogene Untersuchungen, wie z. B. mikroskopische Analysen, geometrische Vermessungen, Analyse von Degradationsprozessen und Korrelationen zu klinischen bzw. patientenbezogenen Faktoren.

Ergebnisse: Innerhalb der vergangenen 10 Jahre wurden zahlreiche Einzelfallbetrachtungen, Schadensanalysen und Serienuntersuchungen durchgeführt. Seit 2016 wurden 11 wissenschaftliche Veröffentlichungen publiziert,

die sich thematisch z.B. mit folgenden Fragestellungen auseinandersetzen:

- Quantifizierung und Lokalisierung von Abrieb an Implantaten unter realen Bedingungen z.B. [1,2]
- Effekt von implantat- und patientenspezifischen Einflussparametern auf Degradationsprozesse (z.B. Abrieb, Korrosion) z.B. [3]
- Identifikation und nachfolgende Analyse spezieller Schädigungsmechanismen (z.B. Schädigungen durch Elektrolyse; Imprinting-Phänomen) z.B. [4]
- Analyse von Interimplantatlösungen für den zweizeitigen Prothesenwechsel bei Infektion [5]

Diskussion: Das Register zeigt einen hohen wissenschaftlichen und klinischen Nutzen, da Verschleiß und Schädigungsmechanismen an Implantaten, die realen Bedingungen ausgesetzt waren, untersucht werden können, während standardisierte Laborbedingungen die Situationsvielfalt der klinischen Realität oft nicht vollständig abbilden können. Der organisatorische Aufwand bleibt durch einen hohen zeitlichen und personellen Faktor, Bedarf an Raumkapazitäten, die erforderliche Patienteneinwilligung, Einhaltung des Daten- und Infektionsschutzes und Studienkoordination hoch.

Dennoch lohnt sich langfristig der Aufwand, da ein kontinuierliches Verständnis über die Grenzen der endoprothetischen Versorgung und potenzielle Fehler eine essenzielle Grundlage für eine Verbesserung der Implantate und der Versorgung der Patienten darstellen.

Referenzen

1. Bormann T et al, Materials;13(7):1519, 2020.
2. Mueller U et al, J Shoulder Elbow Surg. 30(8):517-530, 2021.
3. Bormann T, et al. J Orthop Res, 2025.
4. Sonntag R et al, Bone Joint J. Am;101(10):868-78, 2019.
5. Lunz A et al, Materials;13(17):3882, 2020.

DGfB
2026
18.-20. März, Hamburg



CT-BASIERTE BESTIMMUNG MINIMALER BOHRDURCHMESSER ENTLANG GEKRÜMMTER INTRAOSSÄRER TRAJEKTORIEN IM BECKEN

Robin Heilmann (1, 2), Finn Rohe (1), Georg Osterhoff (2)

1. ZESBO – Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Universität Leipzig; 2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und plastische Chirurgie, Universität Leipzig,

Einleitung: Perkutane Schraubenosteosynthesen im Becken treffen auf eine komplex gekrümmte Anatomie. Konventionelle, gerade Instrumente bilden solche Verläufe nur unzureichend ab. Für neue Instrumente, die gekrümmte Implantate sicher intraossär einbringen können, müssen mögliche Trajektorien und die dort verfügbaren Bohrdurchmesser bekannt sein. Ziel dieser Arbeit war es, minimale Querschnittsdurchmesser entlang gekrümmter Trajektorien durch S1-Ring, S2-Ring, entlang des Acetabulum zum Schambein und entlang Crista iliaca zu bestimmen.

Methoden: Retrospektiv wurden 104 Becken-CTs von Patient:innen (54 männlich, 50 weiblich) mit Polytraumata in 3D Slicer manuell segmentiert. Für jede Region wurde zunächst ein grober Oberflächenspline entlang der Kortikalis aufgezeichnet. Ein eigens entwickeltes Python-Script erzeugte daraus eine intraossäre Trajektorie: Entlang des Ursprungssplines wurden in konstantem Abstand Ebenen senkrecht zur lokalen Normale gelegt, in jeder Ebene der größtmögliche vollständig intraossäre Kreis bestimmt und die Mittelpunkte dieser Kreise zu einem neuen Spline verbunden. Die jeweiligen Kreisdurchmesser wurden als lokal maximal mögliche Bohrdurchmesser übernommen; der

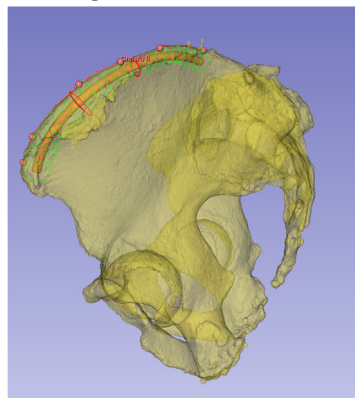


Abb. 1 Trajektorie entlang der Crista iliaca

kleinste Durchmesser pro Trajektorie ging in die regions- und geschlechtsspezifische Auswertung ein. Abb. 1 zeigt exemplarisch einen solchen optimierten Bohrverlauf entlang der

Crista iliaca mit Eintritt am vorderen Darmbeinstachel.

Ergebnisse: In Abbildung 2 sind die minimalen Bohrdurchmesser entlang des S1-Rings für männliche Becken dargestellt. Im Bereich Os sacrum lagen die minimalen Durchmesser im Median bei etwa 22 mm (Interquartilsabstand 21–24 mm, Spannweite 17–27 mm). Nahe der Symphyse waren die Durchmesser deutlich geringer (Median 12 mm, IQR 11–14 mm, Ausreißer bis 3–4 mm). Am Ilium ergaben sich intermediäre Werte mit einem Median von rund 15 mm (IQR 14–17 mm, Maximalwerte um 20 mm). Dieses Muster – größere Querschnitte sakral, kleinere symphysennah und intermediäre Werte am Ilium – bestätigte sich auch in der Gesamtkohorte; weibliche Becken zeigten dabei insgesamt niedrigere minimale Durchmesser.

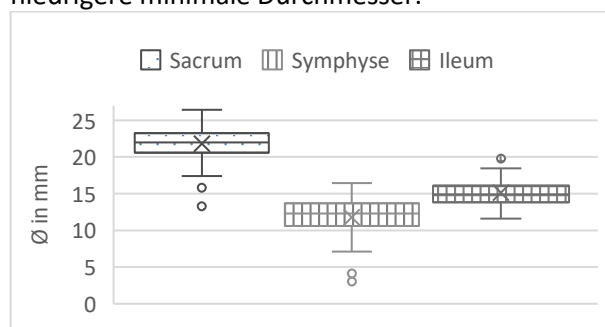


Abb. 2 max. Bohrungsdurchmesser beim S1-Ring von männlichen Becken

Diskussion: Die entlang CT-basiert optimierter gekrümmter Trajektorien verfügbaren Bohrdurchmesser sind stark regions- und Individuen abhängig und lassen sich nicht durch einen Standardwert beschreiben. Die gewonnenen Grenzdurchmesser definieren zentrale Designrandbedingungen für Instrumente zur Applikation gekrümmter Implantate und liefern eine anatomisch fundierte Grundlage für die Entwicklung regionsspezifischer Osteosynthesysteme im Becken.



SCALING AS A LIMITING FACTOR IN OPENSIM SIMULATION

Maximilian Schödlbauer (1), Hans-Peter Köhler (1), Leandra Bauer (2)

1. Department of Biomechanics, Leipzig University, Leipzig, Germany; 2. Department of Experimental Orthopedics, University Hospital Jena, Waldkliniken Eisenberg, Jena, Germany

Introduction: Musculoskeletal models and their simulations allow researchers to investigate internal biomechanical processes that cannot be directly measured in vivo. One widely used open-source program for such analyses is OpenSim. The accuracy of any simulation however strongly depends on how well the underlying model reflects individual anatomical characteristics. Therefore, appropriate scaling of the musculoskeletal model is essential. While several scaling methods and criteria for evaluating scaling quality are documented in OpenSim resources, it remains unclear which approach is most suitable for complex joints such as the shoulder. This study aims to identify the most appropriate scaling strategy for a shoulder model.

Methods: To evaluate different scaling approaches, a thoracoscapular shoulder model [1] was compared with in vivo glenohumeral (GH) joint contact force (JCF) data obtained from a humeral prosthesis equipped with force sensors (Orthoload) [2] and the corresponding motion capture recordings. The 'base model' was scaled using five different methods: (1) no scaling, (2) OpenSim Scaling Tool, (3) manual adjustment and OpenSim Scaling Tool, (4) same as (3) but with segment weight distribution from literature, and (5) an automated scaling algorithm [3]. For each scaled model, inverse kinematics of abduction motion and inverse dynamics to estimate GH-JCF were computed. In addition, static optimization using a rapid muscle redundancy solver [4] was performed for every scaled model, to assess potential differences in GH-JCF resulting from the chosen computational pipeline.

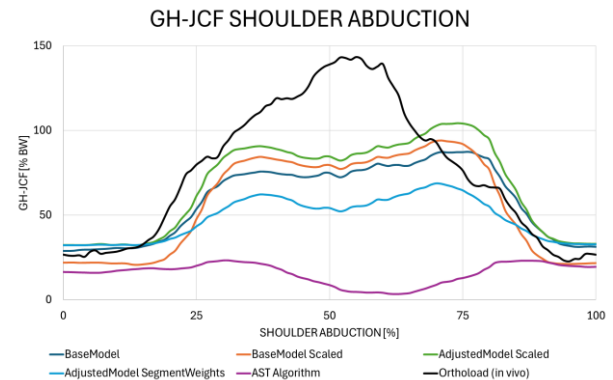


Fig. 1: GH-JCF during shoulder abduction of OpenSim simulation and in vivo measurements

Results: The research is currently ongoing. Therefore, no statistical analysis or comparison of static optimization results can be reported at this stage. Qualitative evaluation indicates significant differences between the in vivo GH-JCF and those estimated through inverse dynamics in OpenSim. Among the tested approaches, method (3) involving manual adjustment and the OpenSim Scaling Tool appears to yield the most reasonable results. In contrast, the automated scaling algorithm demonstrated the poorest performance (see Figure 1).

Discussion: Preliminary results indicate that inaccuracies in motion-capture marker tracking are likely the main contributors to errors. Because OpenSim relies on linear segment scaling, nonlinear anatomical variations, especially in post-operative subjects, may not be captured adequately. Future research should therefore consider nonlinear scaling approaches.

References

1. Seth et al., Frontiers in Neurorobotics, 13, 2019
2. Bergmann et al., J Biomech, 40:2139–2149, 2007
3. Di Pietro et al., Biology and Medicine, 175, 2024
4. Belli et al., PloS ONE, 18(11), 2023



BIOMECHANICAL ASSESSMENT AND HYPERELASTIC MODELING OF PORCINE GROWTH PLATES UNDER COMPRESSION

Lucie Hucke (1,2,3), Graciosa Q. Teixeira (4), Andreas Seitz (4), Antonio Gámez (2), Armin Huß (1), Niels Hammer (3), Andreas Wittek (1), Justyna A. Niestrawska (3,5)

1. Frankfurt University of Applied Sciences, Germany; 2. University of Cádiz, Spain; 3. Medical University Graz, Austria; 4. Ulm University Medical Centre, Germany; 5. University of Graz, Austria

Introduction: Knee simulation models require accurate characterization of growth plate (GP) material properties, which exhibit viscoelastic behavior [1] and significant heterogeneity in depth [1] and anatomical locations [2]. This study investigates GP material properties and their correlation with histological features

Methods: Compression tests were performed on 5 x 5 mm porcine bone-GP-bone samples gathered from three GP types – distal femoral, proximal femoral, and proximal tibial – collected from five specimens. A uniaxial mechanical testing device (Z020, ZwickRoell AG, Ulm, Germany) applied stepwise loading and unloading in 10N increments, up to 50N. At each step, deformation was maintained for 300s and recorded using an Aramis image correlation system (Gesellschaft für Optische Messtechnik mbH, Braunschweig, Germany). The termination point method was employed to obtain equilibrium stress-strain data [3], and a Yeoh hyperelastic material model was fitted to each loading curve. Data were extrapolated to 1 MPa (representing ~7x body weight) to enable comparisons across samples. Histological analysis included safranin O/fast green and MOVAT's pentachrome staining, measuring GP height, zone heights, and hypertrophic chondrocyte area. Sample locations within GPs were precisely documented for analysis.

Results: Preliminary analyses of the tangent modulus during initial deformation (Figure 1) showed values between 1.97 MPa and 3.26 MPa, which aligned with established ranges in the literature [1,2] but demonstrated reduced variability compared to previous studies (0.39–9.74 MPa) [1,2,4]. The Yeoh hyperelastic model provided a robust fit ($R^2 > 0.9176$, with a median

of 0.9971) across all datasets. Grouping the results by individual, GP type, and sampling location revealed differences in material properties at varying deformation levels, thus enhancing the understanding of GP behavior under loading. Notably, variations were observed within anatomical locations when the load reached approximately 76% of body weight.

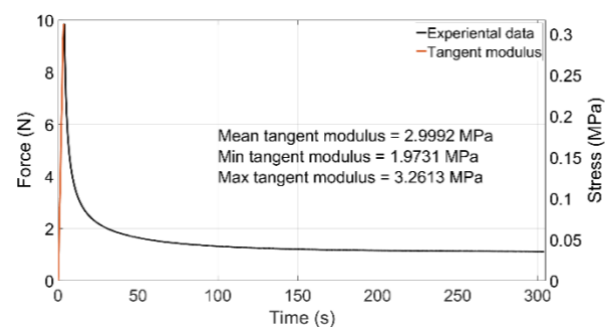


Fig. 1: The plot shows test data for a sample, with the tangent modulus highlighted in orange.

Discussion: The small sample size and unknown gender (female or castrated male) of the porcine specimens limit the generalizability of these results to human GPs. Despite these constraints, the study offers valuable insights into the mechanical behavior of GP cartilage, particularly during large deformations — a topic that remains underexplored in the current literature. These findings provide a foundation for modeling GP material properties in knee simulations, such as finite element (FE) applications.

References

1. Sergerie et al, J Biomech, 42:510-6, 2009.
2. Fischenich et al., J Biomech 134:111013, 2022
3. Schrodtt et al, Tech. Mech., 25:162-11, 2005
4. D'Andrea et al., J Orthop Res 39:907–918, 2021



ROTATORISCHE STABILITÄT EINES BIORESORBIERBAREN BANDERSATZES UNTER KONSTANTER AXIALER BELASTUNG

Julietta Bandel (1), Saskia Hesse (1), Benedict Bauer (1), Viktoria Kiaulehn (2), Maximilian Praster (2), Thomas Gries (1), Caroline Emonts (1)

1. Department of Medical Textiles, Institut für Textiltechnik, RWTH Aachen University, Aachen, Germany;
2. Teaching and Research Area Experimental Orthopaedics and Trauma Surgery, RWTH Aachen University Hospital, Aachen, Germany

Einleitung: Synthetische Implantate werden als Ersatzstruktur zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbands (VKB) entwickelt, um die Stabilität während der Heilungsphase zu verbessern. Trotz der hohen Relevanz für die funktionelle Gelenkstabilität [1,2], liegen zur uniaxialen Beanspruchung unter einem Rotationsmoment bislang nur wenige belastbare Daten vor. Ergänzend zu Vorarbeiten zur zyklischen Belastung unter physiologischen Belastungen wird das Torsionsverhalten von VKB-Ersatzstrukturen unter konstanter axialer Belastung untersucht.

Methoden: Bioresorbierbare rundgeflochtene VKB-Ersatzstrukturen werden bei konstanter axialer Zugkraft von 210 N (entsprechend der VKB-Belastung beim Gehen [1]) mit einer alternierenden Rotation von $\pm 12^\circ$ über 2.500 Zyklen belastet (siehe Abb. 1). Die Prüfung erfolgt winkelgesteuert. Die freie Prüflänge beträgt 40 mm. Die kontinuierliche Erfassung von Drehmoment und Längenänderung ermöglicht die Analyse von Grenzmomenten und Steifigkeitsentwicklung während der zyklischen Beanspruchung.

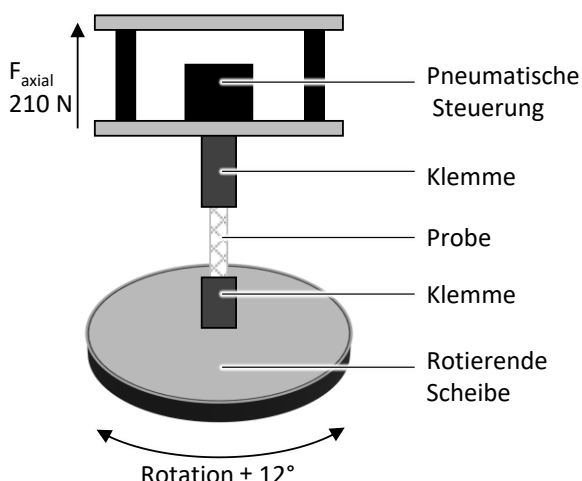


Abb. 1: Versuchsaufbau Rotationstestung

Ergebnisse: Während der 2.500 Zyklen wird ein zweiphasiger Verlauf beobachtet. In der Anfangsphase steigen die erforderlichen Drehmomente deutlich an, bevor diese gegen einen stabilen Grenzwert konvergieren. Parallel dazu erfolgt eine asymptotische Annäherung der Längenänderung bis zu 4 mm. Aus dem Verlauf kann eine initiale Versteifung des Geflechts abgeleitet werden. Auffällig ist eine geringe Streuung der Messwerte, was auf eine hohe Reproduzierbarkeit der Prüfung hindeutet. Die VKB-Ersatzplastik weist am Ende der Prüfung keine Hinweise auf strukturelle Schädigung, oder eine relevante Zunahme der hysteretischen Energieverluste, auf.

Diskussion: Die Ergebnisse zeigen ein stabiles Torsionsverhalten der untersuchten VKB-Ersatzstrukturen unter axialer Vorspannung, gekennzeichnet durch eine initiale Versteifung und ein anschließendes Plateau der Grenzmomente und der Längenänderung. Die geringe Streuung der Messwerte ermöglicht eine zuverlässige Beurteilung des Torsionsverhaltens. In Verbindung mit den zyklischen Tests aus Vorarbeiten kann ein konsistentes Bild der multiaxialen mechanischen Leistungsfähigkeit abgeleitet werden. Perspektivisch sind Untersuchungen unter variierenden Vorspannungen, Rotationswinkeln und längeren Belastungsdauern sinnvoll.

Referenzen:

1. Christel, P.: Prosthetic replacement of the anterior cruciate ligament: A challenge Clinical Materials Band:15 (1994)
2. Vieira, A. C.; Guedes, R. M.; Marques, A. T.: Development of ligament tissue biodegradable devices, Journal of biomechanics 42 (2009)



Weltweit erste synchrone in vivo Belastungsmessungen an Hüfte und Knie

P. Damm, J. Dymke, A. Bender, S. Hardt, C. Perka, G.N. Duda,

Einleitung

Die in vivo auftretenden Belastungen an den Gelenken des menschlichen Körpers bestimmen die langfristige Funktion eines Gelenkes. Wenn natürliche Gelenke degenerieren, ermöglicht ein Gelenkersatz dem Patienten die Wiederherstellung von Mobilität und Lebensqualität. Heutzutage nehmen die Erwartungen der Patienten an die Belastbarkeit und Lebensdauer der Implantate ständig zu und sowohl Patienten als auch Chirurgen streben eine vollständige Wiederherstellung aber auch die Wiederaufnahme der gewohnten Freizeitaktivitäten und sportlichen Aktivitäten an. Um die langfristige Funktionsfähigkeit des Gelenkersatzes zu gewährleisten, haben wir in den vergangenen Jahren eine Datenbank mit in vivo Belastungsdaten und kinematische Daten von künstlichen Schulter-, Hüft- und Kniegelenke bei unterschiedlichsten Alltags- und sportlichen Aktivitäten aufgebaut (OrthoLoad.com). Bislang wurden jedoch all diese in vivo Messungen nur an einzelnen Gelenken einzelner Patienten durchgeführt. Unser Wissen insbesondere über die Belastungsübertragung zwischen den Gelenken ist jedoch immer noch sehr eingeschränkt. Wir konnten nun erstmals einen Patienten im selben Bein mit einem instrumentierten Hüft- als auch mit einem instrumentierten Kniegelenk versorgen. Dies ermöglicht es die wirkenden Belastungen an Hüfte und Knie gleichzeitig und synchron zu erfassen und deren Belastungsinteraktionen systematisch zu analysieren.

Methoden

Unser aktivster Patient (m, 76) erhielt bereits vor 16 Jahren ein instrumentiertes Knieimplantat [3] und nun auch ein instrumentiertes Hüftimplantat [4] im selben Bein. Wir führten unmittelbar nach der Operation, beginnend einen Tag nach der OP, simultane in vivo Belastungsmessungen an Knie- und Hüftgelenk durch. Hier möchten wir nun über die erste synchronen Belastungsdaten während der Rehabilitation und bei Alltagsaktivitäten berichten.

Ergebnisse

Die synchronen in vivo erhobenen Belastung von Hüft- und Kniegelenk (Abbildung 1) zeigen, dass beim Gehen mit Gehstützen an beiden Gelenken vergleichbare Muster aufzeigten, aber mit unterschiedliche Größenordnungen (Hüfte > Knie). Der Belastungsanstieg während des Gehens war an beiden Gelenken nahezu synchron. Er beginnt kurz vor dem ipsilateralen Fersenauftritt und steigt während des kontralateralen Zehenabstoßes auf einen absoluten Spitzenwert von etwa 230 % Körpergewicht (BW) bzw. 250 %BW an. Das absolute Minimum trat in beiden Gelenken immer während der Schwungphase mit etwa 40–50 %BW auf (Abbildung 1).

Diskussion

Mit Hilfe dieses einzigartigen Patienten konnten wir bereits in den ersten postoperativen Untersuchungen eine hohe synchrone Belastung beider Gelenke bei sehr ähnlichen Belastungsgrößen feststellen. Wobei die Belastung der Hüfte im Vergleich zum Knie etwas geringer war. Wir hoffen, durch solche Messungen und die damit verbundenen Muskelaktivitäten und funktionellen Gelenkleistungen ein besseres Verständnis der Wechselwirkung zwischen Hüfte und Knie zu erlangen. Die kommenden synchronisierten in vivo Daten zur Belastung von Hüfte und Knie werden in Kombination mit den ebenfalls geplanten kinematischen Messungen und EMG Messungen auch die Möglichkeit bieten, ein tieferes Verständnis des muskulären Kontrollverhaltens und seiner Auswirkungen auf die entsprechende Belastung in der unteren Extremität erlauben. Schließlich liefern solche in vivo Daten auch einzigartige Basisdaten für die klinische Prävention und Rehabilitation, wo ein tieferes Verständnis der Gelenkinteraktion dazu beitragen kann, negative Auswirkungen auf voneinander abhängige Gelenke, insbesondere nach Gelenkersatz, zu vermeiden.

Literatur

1. Bergmann et al., 2014 and 2016, PlosOne 9(1) and 11(5)
2. Dreyer and Trepczynski et al., 2022, J. Biomech.
3. Heinlein et al. 2009, Clin. Biomech
4. Damm et al, 2010, Med. Eng. & Phys.

Danksagung

Das Projekt wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinde (DFG Da 1786/5-1 and 5-2) und den OrthoLoadClub unterstützt.

VERGLEICH VON MARKERLOSEN UND MARKERBASIERTEN DATEN EINER 3D - GANGANALYSE - ERHEBUNG VON NORMDATEN IM KLINISCHEN KONTEXT

Jonas Emmerling (1,2), Sebastian Wolf (1), Thorsten Stein (2), Maria Bisele (1)

1. Klinik für Orthopädie, Universitätsklinikum Heidelberg, 69118 Heidelberg, Deutschland;
2. Institut für Sport und Sportwissenschaft, Karlsruher Institut für Technologie, 76131 Karlsruhe, Deutschland

Einleitung: Markerlose Bewegungserfassung kann eine ressourcen- und zeitsparende Alternative zu markerbasierten Verfahren in der klinische Ganganalysen darstellen [1]. Auf der Basis von Videodaten nutzt dieser Ansatz künstliche Intelligenz (KI), um die Lage von Gelenkszentren zu identifizieren [2]. Jedoch ist vor der Validierung auf pathologische Populationen und der Implementierung in den klinischen Alltag eine Erhebung von typisch entwickelten Kindern notwendig. Ziel der Studie ist daher zu untersuchen, wie vergleichbar ein markerloses System mit einem markerbasierten System bei der Erhebung von Normdaten im klinischen Kontext einer 3D-Ganganalyse von Kindern ist.

Methoden: 21 gesunde Kinder (1.30 ± 0.1 m, 28.1 ± 7.7 kg, 8.2 ± 2 Jahre) und 12 gesunde Jugendliche (1.63 ± 0.7 m, 55.7 ± 12.6 kg, 14 ± 1.8 Jahre) wurden beim Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit barfuß untersucht. Zehn Durchgänge wurden simultan markerlos mit Theia3D (Theia Markerless Inc., Kingston, Ontario, Canada; 60 Hz) und markerbasiert mit dem Plug-in-Gait Model von Vicon Nexus (Vicon Motion Systems Ltd., Oxford, UK, 120 Hz) erhoben. Die kinematischen und kinetischen Daten (Kister Force Plate, 1000 Hz) wurden mittels Statistical Parametric Mapping (SPM) verglichen. Zudem wurden Abweichungen in Merkmalen ermittelt, die typischerweise im kinderorthopädischen Bereich untersucht werden [3]

Ergebnisse: Die bislang ausgewerteten Daten ($n=2$) zeigen, dass in der Sagittalebene eine gute Übereinstimmung der beiden Systeme, bis auf die Beckenvorkippung, gegeben ist. In der Frontal- und Transversalebene sind größere Unterschiede zu erkennen (Abb.1). Bei relevanten

kinderorthopädischen Merkmalen gibt es ebenfalls Diskrepanzen.

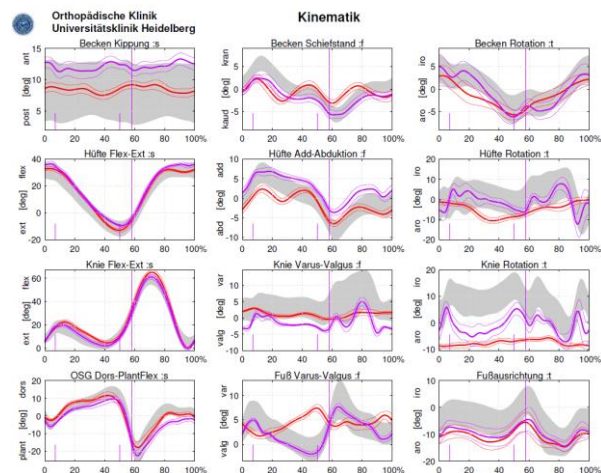


Abb. 1: Vergleich der Gangkinematik des linken Beins eines Kindes (9 Jahre) zwischen markerbasiertem (rot) und markerlosem System (pink)

Diskussion: Wie bereits vorherige Literatur zeigt, gibt es Unterschiede bei den markerlosen und den markerbasierten Daten [1]. Der zusätzliche Vergleich relevanter kinderorthopädischer Merkmale, was ein Novum darstellt, hebt die klinische Praktikabilität dieser Studie hervor. Dennoch sind weitere Untersuchungen verschiedener Pathologien notwendig. Erst dann kann bei selektiver Anwendung unter Berücksichtigung der Pathologie und der Parameter markerlose Ganganalyse in Zukunft eine Alternative darstellen.

Referenzen

- [1] Wren et al, Gait & Posture, 104:9-14, 2023.
- [2] Kanko et al, J. Biomech, 122:110414, 2021.
- [3] Wolf et al, Gait & Posture, 23:331-338, 2006.



STANDARDISIERTE MATERIALCHARAKTERISIERUNG DES LUMBOPELVINEN SYSTEMS – METHODISCHER ANSATZ UND BIOMECHANISCHE EVALUATION

**Sascha Kurz (1,4) Marc Gebhardt (2), Fanny Grundmann (3), Thomas Klink (2), Volker Slowik (2),
Christoph-Eckhard Heyde (1,4), Hanno Steinke (5)**

1. Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane (ZESBO), Medizinische Fakultät, Universität Leipzig, Deutschland; 2. Institut für Experimentelle Mechanik, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Deutschland; 3. Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Spezialisierte Septische Chirurgie, Klinikum St. Georg gGmbH, Leipzig, Deutschland; 4. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Universitätsklinikum Leipzig, Deutschland; 5. Institut für Anatomie, Medizinische Fakultät, Universität Leipzig, Deutschland

Einleitung: Das lumbopelvine System spielt eine zentrale Rolle bei der Lastübertragung. Bislang fehlten standardisierte Verfahren zur Probengewinnung und Charakterisierung. Das Ziel bestand darin, ein reproduzierbares Protokoll zu entwickeln und ortsspezifische Kennwerte zu erheben.

Methoden: Fünf humane Präparate wurden nach einem strukturierten Fünf-Tage-Protokoll untersucht. Knochen- und Weichteilproben wurden standardisiert präpariert, gelagert und getestet.

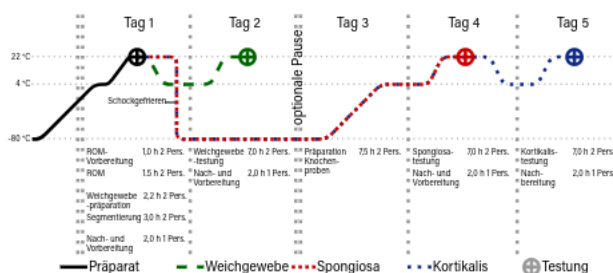


Abb. 1: Visualisierung des Prozesses

Ergebnisse: Aus fünf Präparaten wurden insgesamt 372 Proben gewonnen und analysiert; daraus ließen sich für 91 Entnahmelokalisationen ortsspezifische Materialkennwerte bestimmen. Die Werte des knöchernen Beckens lagen dabei deutlich unter denen langer Knochen, welche häufig als Referenz für FE-Simulationen dienen.

Tab. 1: Durchschnittliche Materialkennwerte

Gewebe	E-Modul / MPa	Festigkeit / MPa
Kortikalis	1747,67	28,20
Spongiosa	32,69	1,26
Faszien	147,79	14,35
Bänder	103,48	10,74

Diskussion: Durch standardisierte Präparation, Lagerung und mechanische Testung von lumbopelvinen Knochen- und Weichgeweben konnten erstmals orts- und gewebespezifische Materialkennwerte zuverlässig ermittelt werden. Diese erhöhen die Vergleichbarkeit, verbessern die Genauigkeit biomechanischer Simulationen und unterstützen die Entwicklung patientenorientierter Implantate sowie Therapiekonzepte.

Förderung: Diese Studie wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen M.G.: ZIM 16KN051655, S.K.: ZIM 16KN051656) sowie durch den Freistaat Sachsen, aus dem vom Sächsischen Landtag bewilligten Staatshaushalt (Stipendienreferenz M.G.: 31004 70 809) unterstützt.

Literatur

- Kurz S, Gebhardt M, Grundmann F, Heyde C-E, Steinke H (2023) Approach to standardized material characterization of the human lumbopelvic system—Specification, preparation and storage. PLoS ONE 18(8): e0289482. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289482>
- Gebhardt, M.; Kurz, S.; Grundmann, F.; Klink, T.; Slowik, V.; Heyde, C.-E.; Steinke, H. Approach to Standardized Material Characterization of the Human Lumbopelvic System: Testing and Evaluation. Bioengineering 2025, 12, 862. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12080862>.



FEASIBILITY OF MARKERLESS MOTION CAPTURE (THEIA3D) FOR MONITORING ORTHOSIS OUTCOMES IN PEDIATRIC GAIT ANALYSIS

Zahra Salehi Tabar¹, Sebastian I. Wolf¹

1. Motion Analysis Laboratory, Orthopedic Center, Heidelberg University Hospital, Heidelberg, Germany

Introduction: Marker-based 3D gait analysis, the current clinical standard for evaluating gait analysis [1], presents high resource demands due to a time-consuming setup and the technical challenge of marker placement on orthotic devices [2]. Markerless motion capture systems, such as Theia3D, offer an alternative to streamline clinical workflow [2,3]. To establish validity and agreement for use in orthotic users, our current study concurrently assesses the kinematic data from Theia3D against the marker-based gold standard (Vicon). The study's primary objective is twofold: to explore how orthotic intervention influences gait characteristics in orthotic users (comparing barefoot vs. orthosis conditions) and to evaluate the application of markerless motion analysis as a practical alternative to conventional methods.

Methods: The ongoing, prospective study is currently recruiting pediatric patients (aged 5–18 years) who use an Ankle-Foot Orthosis (AFO) aiming for a total number of 50 patients. The study protocol specifies simultaneous 3D gait analysis using two systems: the marker-based Vicon system, which utilizes the Plug-in-Gait model, and the markerless Theia3D system. The analysis focuses on the kinematics of the lower leg joints.

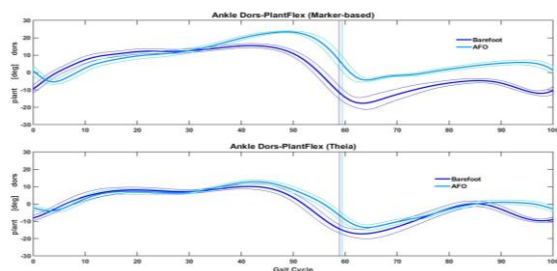


Fig. 1. Marker-based and Theia ankle angles in Sagittal Plane

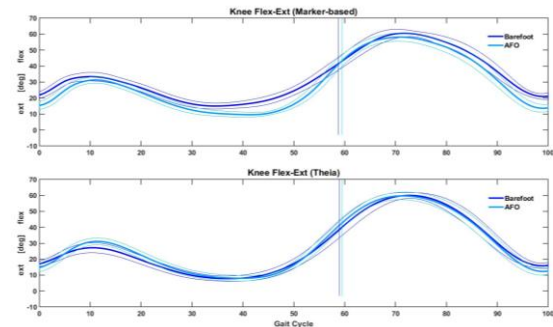


Fig 2. Marker-based and Theia knee angles in Sagittal Plane

Results: Preliminary results (n=1) from an initial pediatric patient (AFO user) were collected. Both systems successfully tracked drop foot correction (Fig. 1), showing a clear increase in ankle dorsiflexion during late swing phase in the orthosis condition. However, Theia3D did not capture the Vicon-observed improvement in knee extension angles in stance (crouch correction) (Fig. 2), indicating limited sensitivity to subtle proximal changes.

Discussion:

The successful tracking of ankle angles in the swing phase showed Theia's sensitivity for monitoring drop foot correction. However, the system's output for the knee curve did not reflect the magnitude of difference between conditions observed by Vicon. To confirm these findings, more participants need to be recruited so that robust statistical tests can be conducted to determine the system's true clinical usability and performance.

References

1. Cimolin V et al, Gait Posture, 39:1005-10, 2014.
2. Wren T A et al, Gait Posture, 104:9-14, 2023.
3. Kanko R M et al, J Biomech, 127:110665, 2021.



ANALYSIS OF BOUNDARY CONDITIONS ON THE DIAPHYSEAL FEMUR DURING BIOMECHANICAL TESTING

Levita Valeriant (1, 2), Tobias Barth (1, 3), Matthias Münch (1, 3), Nicholas Bishop (2), Arndt Peter Schulz (1, 3).

1. Zentrum für klinische Forschung, BG Klinikum Hamburg, Hamburg, Germany; 2. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Hamburg, Germany; 3. Fraunhofer IMTE, Lübeck, Germany

Introduction: An internal literature review revealed considerable variation in biomechanical test setups for diaphyseal femur fracture implants, particularly in the design of proximal and distal fixture, despite similar research questions. This lack of standardization makes it difficult to compare results related to the mechanical behaviour of bone-implant constructs [1]. Moreover, the mechanical performance of these constructs is highly sensitive to the boundary conditions imposed by the test fixtures [2]. This study aims to determine how proximal and distal displacement constraints affect internal forces, moments, and stresses within the femur and laterally mounted plate during biomechanical testing.

Methods: Twelve different biomechanical test setups were analysed in 2D (Figure 1), each with different proximal and distal constraints, angular orientation of the bone, or point of loading. Finite element analysis (FEA) was performed on a simplified femur model to find boundary reaction forces and analytical modelling was then used to calculate the internal forces, moments, and stresses along the entire length of the bone and plate.

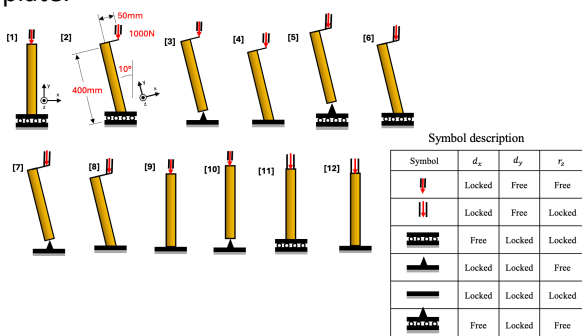


Figure 1. Twelve models developed for the study.

Results: The internal forces along the bone and lateral plate remained constant along their length

across all test setups. The internal moments and stresses could be categorized into setups exhibiting either constant or non-constant distributions, depending on the boundary conditions applied (Figure 2).

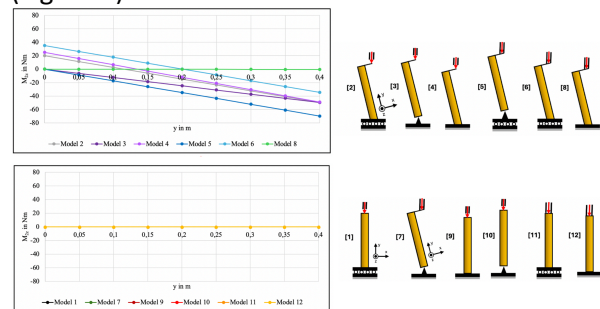


Figure 2. Internal moments from distal to proximal.

Discussion: The results demonstrate that internal forces, moments, and stress distributions along the femur and lateral plate are strongly influenced by boundary conditions applied during biomechanical testing. Some setups produce varying loading along the bone and plate, so that implant loading depends on its mounted position along the bone axis. Implant position is often not described in the literature. Other setups offer constant loading along the axis, leading to less sensitivity to implant positioning.

References

- Schorler, H. et al, Bone plates for osteosynthesis – a systematic review of test methods and parameters for biomechanical testing, Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik, 62-3, 235-243, 2016
- Inacio, J. V. et al, Boundary Conditions Matter—Impact of Test Setup on Inferred Construct Mechanics in Plated Distal Femur Osteotomies, Journal of Biomechanical Engineering, 144-8, 081009-1-081009-11, 2022



VERSCHIEDENE VARUS-VALGUS-CONSTRAINED KTEP-SYSTEME IM VERGLEICH IHRER STABILITÄT BEI ERZWUNGENER VARUS-VALGUS-BEWEGUNG

Matthias Brensing (1), Maximilian Weber (1), Georg Matziolis (1), Matthias Woiczinski (1)

1. Experimentelle Orthopädie Universitätsklinikum Jena, Campus Eisenberg, Eisenberg, Deutschland

Einführung: Varus-Valgus constrained (VVC) Knie totalendoprothesen (KTEP) werden implantiert, wenn der Einsatz von z.B. posterior stabilised (PS) Prothesen ein großes Risiko von Instabilität durch insuffiziente Seitenbänder mit sich bringt. VVC-Systeme verringern die mögliche Rotation in Varus-Valgus (VV) durch einen höheren und breiteren Post am Polyethylen-Insert und eine tiefere Box an der Femurkomponente als PS-Systeme. [1] Eine vergleichende Übersicht über die erreichbaren VV-Winkel verschiedener VVC-Systeme wurde erarbeitet und soll die präoperative Planung unterstützen.

Methoden: Die femorale und tibiale Komponente des VVC-Systems wurden mit Knochenzement auf Halterungen fixiert. Wellen an beiden Halterungen laufen durch Gelenkköpfe (Abstand $a = 120\text{mm}$). Mit Federn zwischen beiden Wellen wird eine axiale Vorkraft aufgebracht, um die in-vivo femorotibiale Kompressionskraft zu simulieren. Die oberen Gelenkköpfe am Balken sind mit dem Kolben der uniaxialen Prüfmaschine verbunden. Eine sinusförmige Wechsellast erzeugt ein wechselndes VV-Drehmoment im Kniegelenk.

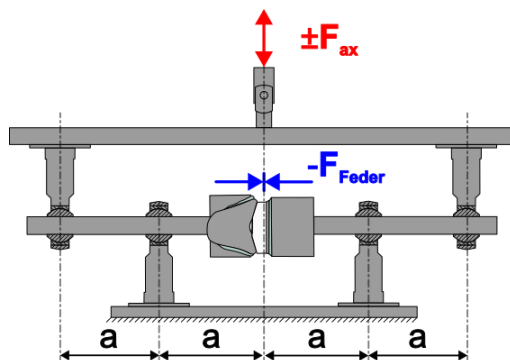


Abb. 1: Schematischer Versuchsaufbau

Die Lasten wurden aus dem level walking CAMS 100High-Datensatz [2] entnommen – der Datenpunkt mit dem größten Verhältnis von VV-Moment zu Axialkraft (M_V/F_Z), um damit eine

physiologische VV-Wechsellast für 100.000 Zyklen zu simulieren. Das VV-Moment von 7 Nm wurde mit einem Sicherheitsfaktor von 1,5 beaufschlagt (**10,5 Nm**), die Axialkraft von **440 N** wurde nicht verändert. Anschließend wurde in einem Locati-Test die Last alle 10.000 Zyklen um 2,5 Nm erhöht. Von den getesteten VVC-Systemen haben 5 ein fixed bearing (FB) insert und 1 eine rotating platform (RP). Nur Fix2 hat eine locking screw (LS), die übrigen sind snap fit (SF).

Ergebnisse: Alle Systeme hatten eine VV-Rotation $< \pm 0,5^\circ$ bei physiologischen Lasten (10,5 Nm), aber erkennbare Unterschiede bei 20,5 Nm. Fix2 (mit LS) hat die geringste VV-Rotation zugelassen.

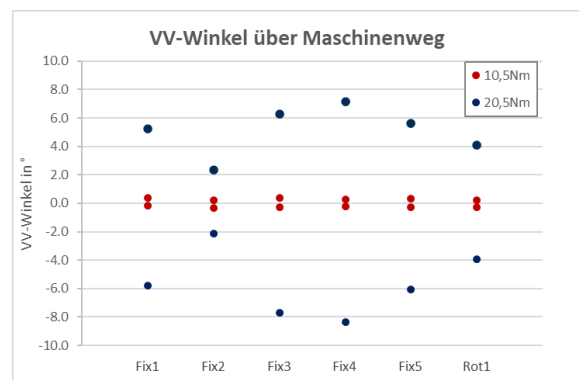


Abb. 2: Ergebnisübersicht

Diskussion: Unterschiede in der Frontalebenebeweglichkeit sollten bei der klinischen Auswahl des KTEP-Systems berücksichtigt werden [3].

Hinweise: Danke an Andreas Pfaff, Fa. Aesculap AG, für die wertvollen Hinweise zur Konstruktion des Versuchsaufbaus.

Referenzen

1. Adravanti, P. et al., Acta Bio Medica: Atenei Parmensis, 88(Suppl 2):112-117, 2017.
2. Taylor, W. et al., J Biomech, 65:32-39, 2017.
3. Berger, P et al., Arch Orthop Trauma Surg, 143(4):2165-2173, 2023.



ACCURACY OF A SIMPLIFIED METHOD FOR ASSESSING TRICEPS SURAE MUSCLE VOLUME IN PATIENTS AFTER FIBULA FREE FLAP SURGERY: A MRI CASE SERIES

Jonathan Kelley (1), Mohamadreza Kharazi (1), Anne-Katrin Bär (3, 4), Sven Kühn (3), Peer Kämmerer (4), Anika Weber (1), Kiros Karamanidis (1, 2)

1. University of Koblenz, Koblenz, Germany; 2. London South Bank University, London, United Kingdom; 3. Federal Armed Forces Hospital, Koblenz, Germany; 4. University Medical Center of the Johannes Gutenberg University Mainz, Mainz, Germany

Introduction: Muscle volume (V_M) is a key determinant of muscle force-generating capacity, but its accurate assessment requires full magnetic resonance imaging (MRI) segmentation, which is highly time-consuming. A simplified method using a muscle-specific shape factor (p) has been proposed previously [1], yet its applicability to surgically altered muscle architecture remains unclear. Therefore, this study investigates the accuracy of this method in patients who have undergone unilateral fibula free flap (uFFF) surgery, in whom the triceps surae (TS) muscles are affected [2], using MRI data from a case series.

Methods: This exploratory case series study comprised four participants (61 ± 8 years) who had undergone uFFF surgery. MRI scans of the affected leg were acquired at 1-mm transverse intervals. Measured muscle volume (V_{M-meas}) was obtained through full segmentation of the TS muscles: gastrocnemius medialis (GM), gastrocnemius lateralis (GL), and soleus (SOL). Estimated muscle volume (V_{M-est}) was calculated using Eq. 1, where $ACSA_{max}$ is the maximal anatomical cross-sectional area, L_M is muscle length, and p is the muscle-specific shape factor taken from the literature [3].

$$V_{M-est} = p \times ACSA_{max} \times L_M \quad (1)$$

Results: In the uFFF group, the monoarticular SOL exhibited lower average $ACSA_{max}$ and V_{M-meas} compared with age-matched healthy controls (data from the literature [3]; Tab. 1). In contrast, the biarticular GM and GL muscles showed higher volumes compared with controls (Tab. 1). Accordingly, the SOL-to-TS muscle volume ratio was lower in the uFFF group compared to the control group (~51% vs. ~57%), accompanied by a higher combined GM- and GL-to-TS ratio (~49% vs.

~43%). Comparing V_{M-meas} and V_{M-est} using p values from healthy controls [3] revealed an error of ~6.5% for SOL and ~4.5% for the biarticular gastrocnemii muscles.

Tab. 1. Means $\pm$ standard deviations of the $ACSA_{max}$ (cm²), V_{M-meas} and V_{M-est} (cm³)

		uFFF	Healthy
SOL	$ACSA_{max}$	20.9 ± 6.7	24.0 ± 4.4
	V_{M-meas}	337.0 ± 135.7	357.7 ± 61.8
	V_{M-est}	318.6 ± 125.3	358.8 ± 65.3
GM	$ACSA_{max}$	12.5 ± 4.4	13.1 ± 2.3
	V_{M-meas}	196.5 ± 83.6	179.5 ± 32.8
	V_{M-est}	185.4 ± 89.6	179.8 ± 33.3
GL	$ACSA_{max}$	8.9 ± 2.7	7.6 ± 1.2
	V_{M-meas}	119.7 ± 41.6	90.2 ± 15.9
	V_{M-est}	120.8 ± 44.2	90.4 ± 14.8

Discussion: Using the shape factor p derived from healthy controls led to a functionally relevant underestimation of SOL volume in the uFFF group, indicating limited predictive accuracy for muscle volume. Our findings further suggest chronic SOL degradation following uFFF surgery, with incomplete remodeling after partial muscle removal. This could alter the distribution of force generation and mechanical power production across monoarticular and biarticular muscles in the TS, with possible implications for daily life activities such as walking and running.

References

1. Albracht et al., J. Biomech., 41:2211-2218, 2008.
2. Nokovitch et al., Surg. Radiol., 41:447-454, 2019.
3. Karamanidis et al., Front. Physiol., 10:1299, 2019.



AN EARLY-STAGE DEVELOPMENT OF A BIOFIDELIC FINITE ELEMENT MODEL OF THE PREGNANT ABDOMEN

Rahul Soni (1)

1. Energy Science, TU Darmstadt, Darmstadt , Germany

Introduction: Pregnant occupants remain underrepresented in automotive safety research, and existing crash-test models do not accurately capture the biomechanics of the pregnant abdomen. This limits our ability to study maternal-fetal injury mechanisms such as uteroplacental strain and placental abruption. This work presents the early development of a biofidelic finite element model of the pregnant abdomen to support safer restraint design and improved clinical understanding of pregnancy-related trauma.

Methods: A preliminary finite element workflow was established to model the uterus, placenta, and surrounding maternal tissues using imaging-derived geometry and literature-based material properties. Hyperelastic and viscoelastic constitutive laws were assigned, and mesh refinement tests were performed to ensure numerical stability. Initial loading scenarios relevant to abdominal compression and restraint interaction were implemented using a nonlinear solver suitable for large deformations.

Results (Work in Progress): As this is an early-stage study, full simulations are currently in preparation. Initial tests focus on achieving stable meshing, selecting physiologically appropriate material parameters, and ensuring solver convergence under controlled loading. The expected outcome of the next development phase is to identify strain distribution patterns within the uterus-placenta interface and evaluate how material properties influence these responses. These forthcoming simulations will guide

parameter calibration and inform the model's refinement toward clinical and biomechanical relevance

Discussion: Early modelling highlights the sensitivity of uterine and placental regions to material and loading choices, underscoring the need for accurate geometry and calibration before assessing clinically relevant injury mechanisms.

References

1. Miften M., Faißal A. *Biomechanics of the Uterus*. Springer, 2011.
2. Linder A., Svensson M.Y. "Pregnant occupant protection—A review of biomechanical and computational models." *Accident Analysis & Prevention*, 2017.
3. Clinthorne et al. "Finite element modeling of the gravid uterus to predict placental abruption." *Journal of Biomechanics*, 2018.
4. Rupp J.D. et al. "The expecting model: Development of computational pregnant occupant models." *Stapp Car Crash Journal*, 2010.
5. Shi X., Hardy W.N., Yang K. "Abdominal injury mechanisms and uteroplacental interface response in impact." *Annals of Biomedical Engineering*, 2014.
6. Horgan T., Gilchrist M.D. "Finite element modeling of the human abdomen." *International Journal of Crashworthiness*, 2003.
7. Dumas R. et al. "Material properties of uterine and placental tissues: A review." *Clinical Biomechanics*, 2019.

COMPUTATIONAL FRAMEWORK FOR MECHANICAL ANALYSIS OF HIGHLY ALIGNED CHANNEL-LIKE COLLAGEN SCAFFOLDS IN CRITICAL-SIZE BONE DEFECTS

Nina Hinrichsen (1), James Gutschmidt (1), Till Oppermann (1), Gerd Huber (1), Sara Checa (1)

1. Institute of Biomechanics, Hamburg University of Technology, Hamburg, Germany

Introduction: Critical-size bone defects remain a major clinical challenge, as they do not heal spontaneously. In vivo studies on critical-size rat femoral defects demonstrated that channel-like macroporous collagen scaffolds promote structurally guided endochondral ossification [1], representing a promising approach for bone regeneration. However, the local mechanical environment within the implanted scaffolds and its influence on cellular behavior remain insufficiently characterized. This study aims to develop a finite element (FE) model to investigate the mechanical environment within such a scaffold at the scale of a critical-size rat femoral defect. The resulting framework provides a foundation for future computational studies on the mechanobiological processes underlying scaffold-supported bone regeneration.

Methods: An experimentally characterized highly aligned macroporous collagen scaffold (1.5 wt% collagen in aqueous solution) [2] was used as a reference (Fig. 1a). Following the approach of a previous computational study that investigated scaffold subvolumes [2], the present model (Fig. 1b) captures the overall scaffold architecture for a 5 mm femoral defect in rats. To mimic the complex architecture of the scaffold, its geometry was represented as a hexagonal lattice of domains, each comprising seven parallel pores with walls oriented at 0°, 120°, or 240°. The walls were modeled as a superposition of perpendicular sinusoidal waves (SolidWorks, v2024, Dassault Systèmes, France), with amplitude and wavelength derived from reported median geometrical parameters [2]. Struts with circular cross-sections were added perpendicular to the pore walls. Two modeling strategies were applied (Abaqus, v2024, Dassault Systèmes, France): (i) a volumetric representation using continuum solid elements, and (ii) a surface-based model combining shell and beam elements.

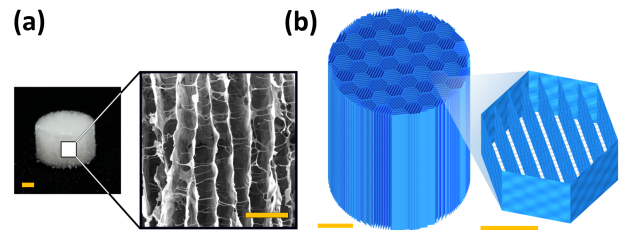


Fig. 1: Macroporous collagen scaffold. (a) Reference scaffold (left) and axial pore morphology (right) (adapted from [3]). Scale bars: left 1 mm, right 250 μ m. (b) 3D model of overall scaffold geometry (left) and representative shell-beam domain (right). Scale bars: left 1 mm, right 250 μ m.

Results: For both modeling approaches, the scaffold geometry was successfully generated, capturing the main architectural features reported experimentally [2]. Boundary conditions replicating experimental compression tests [2] were implemented in the FE models.

Discussion: The developed numerical framework provides an initial step toward analyzing the mechanical environment within collagen scaffolds at the scale of a critical-size rat femoral defect. Current work focuses on calibrating the models against experimental compression data. In the next step, both modeling approaches will be assessed in terms of mechanical accuracy and computational efficiency. Subsequently, physiological loading conditions will be simulated to serve as a basis for coupled mechanobiological modeling.

Notes: This work was supported by grant CRC1444 from the German Research Foundation.

References

1. Petersen et al, Nat Commun 9, 4430, 2018.
2. Herrera et al, Mater Sci Eng C Mater Biol Appl., 103:109760, 2019.
3. Brauer et al, Aging Cell, 22(3):e13744, 2023.



INFLUENCE OF BONE DENSITY, CORTICAL THICKNESS, AND BODY WEIGHT ON PRIMARY STABILITY OF CEMENTLESS HIP STEMS: A FINITE ELEMENT–BASED PREDICTIVE MODEL

Jie Yang¹, Chun Li¹, Kai O. Böker¹, Arndt F. Schilling¹, Wolfgang Lehmann¹.

1. Department of Trauma Surgery, Orthopedics and Plastic Surgery, University Medical Center Göttingen, Germany.

Introduction: Primary stability of cementless femoral stems is essential for successful osseointegration after total hip arthroplasty (THA).^[1] However, patient-specific factors such as bone mineral density (BMD), cortical thickness, and body weight significantly affect initial micromotion at the bone–implant interface.^[2] This study aimed to establish a finite element (FE)-based predictive model to quantify the influence of these parameters on stem micromotion and to provide a practical formula for preoperative stability estimation.

Methods: Five three-dimensional femoral FE models were constructed, each representing different cortical thicknesses (cortical index^[3], CI = 0.488–0.632) corresponding to Dorr type A–B femora. (Fig.1, Tab.1) Each model was assigned five levels of proximal volumetric bone mineral density (vBMD = 280–360 mgHA/cm³, step = 20) to simulate varying bone quality. Physiological walking loads were applied for body weights of 50, 60, and 70 kg. The relative micromotion between the bone and the cementless stem was computed at the bone–implant interface. For each simulation, both mean and 95th percentile (P95) micromotion values were extracted for further regression analysis.

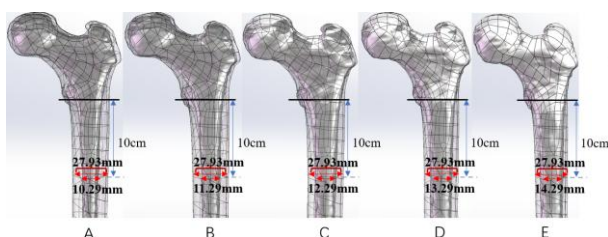


Fig. 1: Finite element femoral models (A–E) representing increasing medullary canal diameter and decreasing cortical thickness (Cortical Index

from 0.632 to 0.488), corresponding to Dorr type A to B femora.

Results: Higher vBMD and cortical thickness substantially reduced micromotion, whereas increasing body weight led to larger interface motion. The derived predictive equations were expressed as:

$$P_{95} = 1.65 \times 10^{15} \cdot vBMD^{-6.199} \cdot CI^{-0.592} \cdot BW^{1.230} \quad (1)$$

$$Mean = 4.14 \times 10^{14} \cdot vBMD^{-6.092} \cdot CI^{-0.694} \cdot BW^{1.210} \quad (2)$$

Discussion: This study presents a quantitative approach for estimating stem–bone micromotion based on measurable preoperative parameters. The predictive model may help characterize how vBMD, cortical index, and body weight influence the primary stability of cementless stems. Nevertheless, the current results have not yet been compared with real-world experimental or clinical data. Substantial in-vivo or cadaveric validation will be required to further verify and calibrate the predictive model. Additionally, inter-individual variation in femoral size and morphology is not represented in the present simulations and should be considered in future work.

Notes: The author Jie Yang acknowledges financial support from the China Scholarship Council (CSC, No. 202408080190).

References

1. Khanuja HS, et al, J Bone Joint Surg Am, 93:500–509, 2011.
2. Al-Dirini RMA, et al, J Biomech, 82:346–356, 2019.
3. Wilkerson J, et al, Clin Orthop Relat Res, 478:1939–1944, 2020.



A COMPARISON OF METHODS TO INVESTIGATE VIBRATION PERCEPTION THRESHOLDS AT THE FOOT

Claudio Zippenfennig (1), Sally Kloß (1), Thomas L. Milani (2), Frédéric Marin (1), Tina J. Drechsel (1)

1. Movement Science for Prevention and Rehabilitation, Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany; 2. Biomechanics and Sensory Research Group, Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany

Introduction: Quantifying vibration perception thresholds (VPT) is an established component of Diabetic Peripheral Neuropathy (DPN) assessment, as reduced vibration perception reflects neuropathic changes [1,2]. Since commonly used methods often lack objectivity and accuracy [1,3], an optimal screening tool should provide reliable, receptor-specific measurements (30 Hz for Meissner, 200 Hz for Pacinian corpuscles) within a short timeframe [1]. This study compared a standardized, spatially specified measurement system with a novel, more time efficient whole foot approach to detect vibration perception.

Methods: 38 healthy subjects (13 men, 25 women; age 24.4 ± 4.7 yrs) were involved. VPTs (30/200 Hz) were assessed using two systems: the shaker system, measuring local thresholds at defined plantar sites (heel, metatarsal head I), and a vibration platform, determining whole-foot VPT (WF-VPT) with the foot placed flat on the surface.

Results: Measurement time was markedly shorter with the vibration platform (~5 min) than with the shaker system (~20 min). WF-VPTs were consistently lower than local VPTs at the heel and metatarsal head I (Fig. 1).

Discussion: The vibration platform offers a substantial advantage in time efficiency and may better meet practical clinical demands. The consistently lower WF-VPTs compared to local VPTs are probably due to effects of spatial summation [4]. However, unlike the shaker system – which enables site-specific assessment – it yields only a single whole-foot parameter. Because DPN progresses in a distal-to-proximal pattern [5,6], this lack of spatial resolution may limit early detection. Future studies must clarify whether the platform's practicality compensates for the reduced ability to capture spatial disease progression.

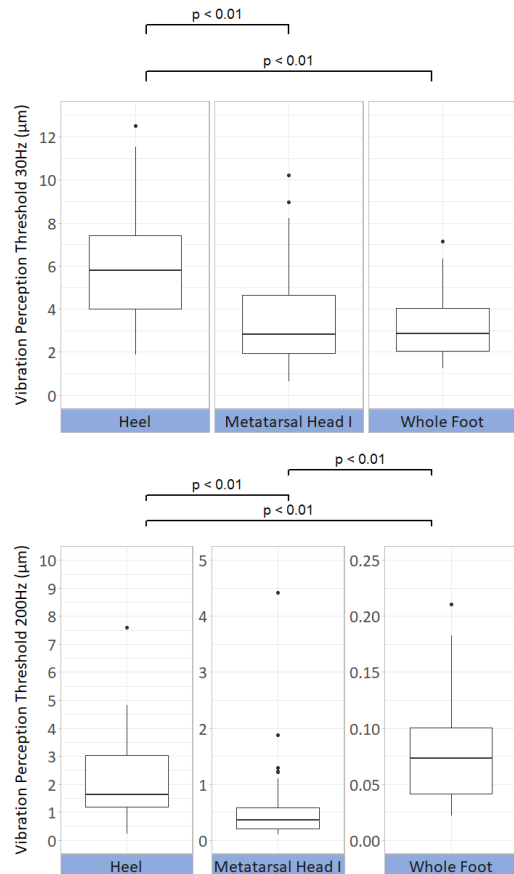


Fig. 1: VPTs for 30 Hz (above) and 200 Hz (below). Note the different y-axis scale at 200 Hz.

References

1. Garrow & Boulton, Diabetes Metab Res Rev, 22:411-419, 2006
2. Ising et al, PLoS ONE, 13(4):e0196243, 2018
3. Bakker et al, Diabetes Metab Res Rev, 28:225-231, 2012
4. Gu & Griffin, Med Eng Phys, 35:1221-1227, 2013
5. Zochodne, Muscle Nerve, 36:144-166, 2007
6. Hsieh et al, J Neuropathol Exp Neurol, 59:297-307, 2000



BIOMECHANISCHE ANALYSE DER BAND- UND SEHNENSTRUKTUR DES KNIEGELENKS

Benjamin Fischer (1,2), Florian Metzner (1,2), Fangxing Wang (1,2), Leyu Zheng (2), Sabine Löffler (3), Jan-Dirk Theopold (2), Stefan Schleifenbaum (1,2)

1. Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Medizinische Fakultät, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland; 2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Universitätsklinikum Leipzig, Leipzig, Deutschland; 3. Institut für Anatomie, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland.

Einleitung: Bei Verletzungen im Bereich des Kniegelenks sind meistens Band- oder Sehnenstrukturen betroffen. Um die Strukturen und damit verbundene Versagensmechanismen besser zu verstehen, ist ein spezifisches Verständnis der biomechanischen Eigenschaften der einzelnen Strukturen notwendig. Ziel dieser Studie war eine biomechanische Analyse der Sehnen- und Bandstrukturen im Bereich des Kniegelenks, um gewebespezifische mechanische Kennwerte dieser anatomischen Strukturen zu akquirieren.

Methoden: Es wurden 5 Kniegelenke (fresh frozen) von 3 Spendern zunächst über Nacht aufgetaut. Anschließend wurden diese von der Haut abwärts zum Knochen hin präpariert. Dabei wurden die jeweiligen Bänder und Sehnen des Knies separiert, entnommen und für einen uniaxialen Zugversuch in eine Sanduhrform zugeschnitten. Die Proben wurden mittels 3D-gedruckten Probenhaltern (gefertigt nach Scholz et al. [1]) in der Prüfmaschine eingespannt. Im Anschluss erfolgte die Abformung des Probenquerschnittes, gefolgt von einem quasistatischen Zugversuch bis zum Probenversagen. Aus den abgeformten Probenquerschnitten wurde für jede Probe die Querschnittsfläche ermittelt.

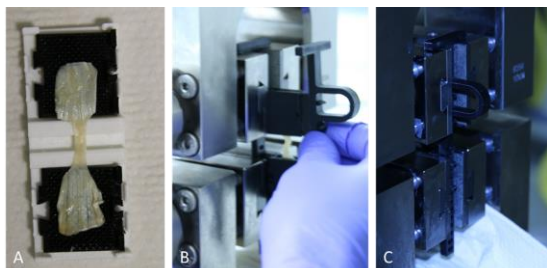


Abb. 1: Probenform und Testsetup

Ergebnisse: Es konnten insgesamt 57 Proben aus 15 verschiedenen Bändern und Sehnen erfolgreich getestet werden. Es ergab sich eine Range des Querschnitts zwischen den Strukturen von 1,9 - 69,0 mm². Die Zugfestigkeit lag im Bereich von 0,5 - 68,9 MPa und für das Elastizitätsmodul zwischen 2,1 - 316,9 MPa. Die Versagensdehnung lag dabei in einer Range von 6,2 - 47,2 %.

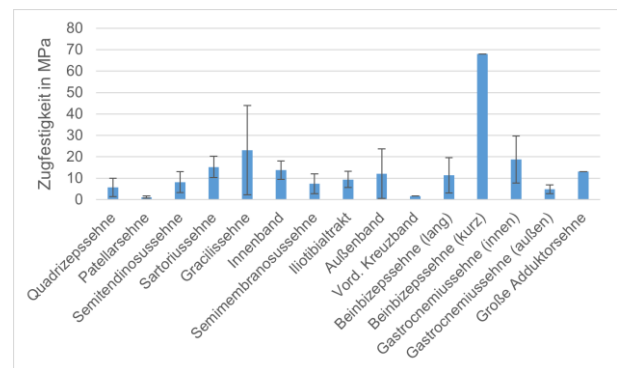


Abb. 2: Ermittelte Zugfestigkeiten der 15 erfolgreich entnommenen Gewebetypen

Diskussion: Die Ergebnisse zeigen eine deutliche gewebsspezifische Schwankung in den Festigkeiten und Elastizitätsmoduln auf. Gleichzeitig liefern die erhobenen Daten die Basis für mögliche Ersatzmaterialien bzw. Implantate im Bereich des ligamentären bzw. tendinösen Halteapparats des Kniegelenks. Des Weiteren liefern die Ergebnisse dieser Studie umfassende Einblicke in die Verteilung der lasttragenden Strukturen des Kniegelenks und deren Rolle in der Stabilisierung des Kniegelenks.

Literatur:

Scholz, M. et al: 10.1038/s41598-018-29583-4



DER EINFLUSS DES OSTEOTOMIEWINKELS BEI SCHRÄGER TIBIAOSTEOTOMIE ZUR KORREKTUR VON VARUS/VALGUS-DEFORMITÄTEN

Martin Heilemann (1,2), Andreas Roth (2)

1. ZESBO – Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Medizinische Fakultät, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland; 2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Universitätsklinikum Leipzig, Leipzig, Deutschland

Einleitung: Die schräge Tibiaosteotomie stellt eine Alternative zur Open- und Closed-Wedge-Technik zur Korrektur von Varus oder Valgus Deformitäten der Tibia dar. Relevante Vorteile sind die Reduktion der Gefahr einer Pseudarthrose durch direkten und großflächigen Kontakt der Knochensegmente sowie Vermeidung von Beinlängenänderungen [1,2].

Bei reiner Varus/Valgus-Deformität besteht jedoch das Problem, dass mit der Korrektur in der Frontalebene ein Rotationsfehler (a) und eine sagittale Deformität (b) einhergehen. Das Ausmaß dieser ist jedoch stark abhängig vom Osteotomiewinkel. Dieser beeinflusst zudem die Länge des von der Osteotomie betroffenen Bereichs (c) als auch die überlappende Querschnittsfläche der beiden Knochensegmente (d).

Ziel der Arbeit war die Untersuchung des Einflusses des Osteotomiewinkels auf jene vier Parameter (siehe a-d) mit anschließender Bestimmung des optimalen Winkels für jede Deformität.

Methoden: Varus- und Valgus-Deformitäten (-30° bis +30°) wurden an einem Open-Access Tibia-Modell [3] virtuell modelliert. An jedem deformierten Modell erfolgte virtuell je eine schräge Tibiaosteotomie unter einem Winkel von 10° bis 80° zur Axialebene mit anschließender Korrektur durch Rotation des distalen Knochens. Es folgte die Berechnung der vier relevanten Parameter (a-d). Zur Bewertung der jeweiligen Effekte erfolgte eine Normalisierung der Werte, orientierend an Optimal- und Referenzwerten aus der Literatur. Durch Addition der normalisierten Werte ließen sich die verschiedenen Effekte zusammengefasst betrachten, woraus für jeden Deformitätswinkel ein optimaler Osteotomiewinkel abgeleitet werden konnte.

Ergebnisse: Abb. 1 zeigt die zusammengefassten normalisierten Werte (akkumulierter Score). Der optimale Osteotomiewinkel, gekennzeichnet durch den minimalen Score für die jeweilige Deformität, wird durch den Graphen indiziert.

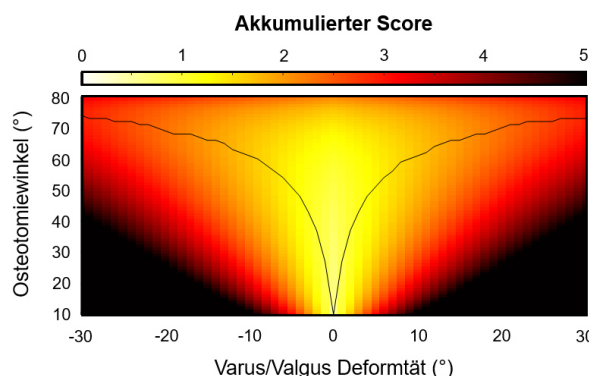


Abb. 1: Akkumulierter Score für verschiedene Deformitäten und Osteotomiewinkel

Diskussion: Die Betrachtung eines nur in der Frontalebene deformierten Standard-Tibia Modells stellt eine Verallgemeinerung klinischer Fälle dar, weshalb den berechneten optimalen Osteotomiewinkeln keine uneingeschränkte Gültigkeit beigemessen werden sollte. Jedoch trägt die durchgeführte Analyse zur Erweiterung des Verständnisses bezüglich des Einflusses des Osteotomiewinkels im Falle der schrägen Tibiaosteotomie bei, was zukünftig zur gesteigerten Berücksichtigung dieser Technik führen kann.

Referenzen

1. Rab, J Child Orthop, 4(2):169-172, 2009.
2. Zhao, Arthrosc Tech, 10(11):2421-2427, 2021.
3. My Segmenter. Tibia Right_Human Skeleton. Version 2, NIH 3D, 2023.
<https://3d.nih.gov/entries/3DPX-016824>



DEVELOPMENT OF AN ADVANCED KNEE SIMULATOR FOR DYNAMIC MOTION: A FEASIBILITY STUDY

Gwendolin Prusa (1,2), Janos Tomka (2), Mohammad Haddara (2), Matthias Woiczinski (3), Thomas Grupp (4,5), Peter E. Müller (4), Michael Dan (2), Sumit Raniga (2), Louis Ferreira (1), Richard Appleyard (2)

1. Department of Biomedical Engineering, Western University, London, Ontario, Canada; 2. Macquarie Translational Orthopaedic Research Laboratory (MQ TOR Lab), Faculty of Medicine, Health and Human Sciences, Macquarie University, Sydney, NSW, Australia; 3. Experimental Orthopaedics University Hospital Jena, Campus Eisenberg, Friedrich-Schiller-University Jena, Waldkliniken Eisenberg, Eisenberg, Germany; 4. Department of Orthopedics and Trauma Surgery, Musculoskeletal University Center Munich (MUM), University Hospital, LMU Munich, Germany; 5. Research and Development, Aesculap AG, Tuttlingen, Germany

Introduction: Total knee replacement (TKR) surgery is widely performed, yet patient satisfaction remains low, due to functional limitations and high revision rates [1]. In-vitro testing using weight-bearing knee simulators enables controlled assessment of implant performance under realistic loading conditions. While existing systems, such as the Oxford Knee Rig and its derivatives, have provided valuable biomechanical insights, they are constrained by quasi-static motion profiles and simplified muscle modelling [2]. This study aimed to assess the functional performance of a newly developed knee simulator designed to replicate physiologically relevant dynamic motion and loading patterns.

Methods: The MQTOR knee simulator (Fig. 1) performs active flexion-extension by actuating six musculotendinous units surrounding the knee joint, controlled via an open-loop tendon excursion algorithm with iterative learning. A male cadaveric specimen (age: 65) with a CR-TKR and hip implant (Aesculap AG) was used. The femoral head was mounted in an acetabular cup, which was connected to a rotary actuator that repositions the linear actuators to preserve physiological lines of action. After characterizing the native motion path, the simulator reproduced the flexion cycle while 3D joint kinematics were recorded. Tracking performance was evaluated by comparing executed motion to the setpoint using RMSE and MAE.

Results: The simulator executed active flexion-extension cycles under open-loop control.

Following initial characterization, two iterations of kinematic error compensation reduced RMSE from 10.9° to 7.68° and MAE from 8.19° to 6.91°, indicating improved alignment with the setpoint trajectory (Tab 1).

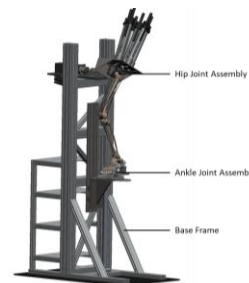


Fig. 1: CAD model of the MQTOR Knee Simulator.

Tab.1: RMSE and MAE during motion path compensation.

Comparison	RMSE	MAE
Initial vs. Setpoint	10.9	8.19
ErrComp1 vs Setpoint	8.42	6.75
ErrComp2 vs. Setpoint	7.68	6.91

Discussion: This study demonstrates the functionality of a novel knee simulator to accurately reproduce individual knee flexion-extension. The progressive reduction in kinematic error highlights its potential for future testing and suggests it could be a valuable tool for advancing our understanding of knee joint biomechanics.

References

1. Bryan S, et al., BMC Musculoskelet Disord. 19(1):423, 2018.
2. Bourne, R., et al., Trans Orthop Res Soc, 24: 160, 1978



DEVELOPMENT AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF AN ADDITIVELY MANUFACTURED DENTAL IMPLANTS

Osman Akbas (1), Anne Jahn (2), Stefan Kaierle (2), Meike Stiesch (1), Andreas Greuling (1)

1. Department of Prosthetic Dentistry and Biomedical Materials Science, Hannover Medical School, Hannover, Germany; 2. Laser Zentrum Hannover e.V., Hannover, Germany

Introduction: Additive manufacturing (AM), in particular the laser powder bed fusion (LPBF) process, represents a promising technology for the production of dental implants. It enables a high degree of design freedom, precise adaptation to patient-specific requirements and the integration of complex structures. Nevertheless, uncertainties remain with regard to the dimensional accuracy and mechanical stability of additively manufactured implants compared to conventionally manufactured systems.

Methods: A three-part dental implant system, consisting of an implant body, a conical abutment and an abutment screw, was manufactured from Ti-6Al-4V. The implant body was manufactured using the LPBF process, while the abutment and abutment screw were manufactured using conventional machining. The dimensional accuracy of the LPBF implant was evaluated using computer tomography (CT) and length measurements. The mechanical characterization was conducted using quasi-static and dynamic tests to investigate both the failure behavior and the fatigue behavior of the implant systems.

Results: The dimensional analyses showed that the dimensions of the LPBF-fabricated implant body were within a functionally acceptable tolerance range. The CT evaluations confirmed a precise fit of the implant components without relevant interface deviations or internal defects. The results of the quasi-static and dynamic experiments showed that the mechanical properties provide promising results. All samples exhibited reproducible mechanical behavior, with failure modes mainly at the abutment screw, while the implant body remained structurally intact in most cases.

Discussion: The results show that LPBF-manufactured implants are comparable to

conventionally manufactured Ti-6Al-4V implants in terms of dimensional accuracy, failure behaviour and mechanical strength. The study thus demonstrates the potential of additive manufacturing as a promising alternative for the patient-specific manufacturing of dental implants. Nevertheless, further research is needed to comprehensively evaluate the biological compatibility, cellular response and long-term tissue integration of additively manufactured implants.

Notes: The authors gratefully acknowledge the funding by the German Research Foundation (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG) for the research unit 5250 “Mechanism-based characterization and modeling of permanent and bioresorbable implants with tailored functionality based on innovative *in vivo*, *in vitro* and *in silico* methods” (project no. 449916462).



ELECTROMECHANICAL COMPUTATIONAL MODEL OF THE HUMAN STOMACH

Maire S. Henke (1), Sebastian Brandstaeter (2), Alessio Gizzi (3), Roland C. Aydin (1,4), Christian J. Cyron (1,4),

1. Institute for Continuum and Material Mechanics, Hamburg University of Technology, Hamburg, Germany; 2. Institute for Mathematics and Computer-Based Simulation, University of the Bundeswehr Munich, Neubiberg, Germany; 3. Theoretical and Computational Biomechanics Lab, Università Campus Bio-Medico di Roma, Rome, Italy; 4. Institute for Material Systems Modeling, Helmholtz-Zentrum Hereon, Geesthacht, Germany

Introduction: Health problems related to the mechanics of the stomach (gastric mechanics) are among the most important causes of morbidity in industrialized countries. Around 10% - 45% of the general population suffer from dyspepsia (difficult digestion), which seriously compromises individual well-being and economic productivity and is often linked to the motility of the stomach. At the same time, the biomechanics of the stomach still remains poorly understood, especially compared to the cardiovascular system. Currently, biomechanical modeling of the human stomach lags around one to two decades behind biomechanical modeling of the cardiovascular system.

Methods: To help close this gap between medical needs and the state of science, we present a comprehensive computational model of the motility of the stomach [1]. It uses the finite element method (FEM) to capture the coupled nonlinear solid mechanics and electrophysiology of the stomach and can leverage patient-specific magnetic resonance imaging (MRI) data. Muscular contractions are captured by an active-strain approach and a modified Mitchell-Schaeffer model. Non-uniform mechanical and electrophysiological parameters are defined by solving several Laplace–Dirichlet problems.

Results: Our model can reproduce essential phenomena of gastric electromechanics, including slow wave entrainment and the propagation of ring-shaped peristaltic contraction waves (Fig. 1). Importantly, it can reproduce also pathological disorders of gastric motility.

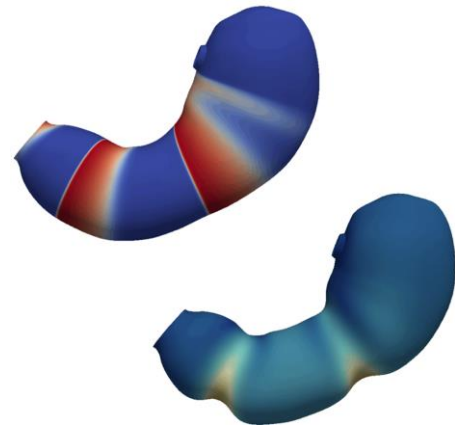


Fig. 1: Transmembrane potential of Interstitial Cells of Cajal (ICC) (top) and mechanical deformation from resulting muscular contractions (bottom)

Discussion: Our model provides a powerful tool for future in-silico studies of physiological and pathological mechanisms of the human stomach. It can thereby help unravel the mechanisms of gastric diseases and develop ideas for new therapies.

Notes: This work was funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) – 350481011, 469698389. AG acknowledges the ERC Consolidator Grant support from the European Union’s Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No. 101170592 — MiGEM.

References

1. Henke et al, Comput Meth Appl Mech Eng, preprint arXiv:2509.02486, 2025



MECHANISCHER WIDERSTAND ALS ECHTZEITINDIKATOR FÜR FEHLLAGEN? EINE STANDARDISIERTE ANALYSE DER PEDIKELSCHRAUBENPLATZIERUNG

Sascha Kurz (1,2), Benjamin Fischer (1,2), Janine Schultze (1,2), Florian Metzner (1,2), Toni Wendler (1,2), Christoph-Eckhard Heyde (1,2), Stefan Schleifenbaum (1,2)

1. Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane (ZESBO), Medizinische Fakultät, Universität Leipzig, Deutschland; 2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Universitätsklinikum Leipzig, Deutschland

Einleitung: Fehllagen von Pedikelschrauben treten mit einer Häufigkeit von 2 – 15 % auf und führen häufig zu Revisionseingriffen. Die Analyse von Drehmoment und Widerstand wird als potenzieller Ansatz zur Echtzeitdetektion diskutiert. Ziel dieser Studie war es, die Zuverlässigkeit der Methode zu überprüfen.

Methoden: Fünf thorakolumbale Humanpräparate wurden untersucht. Korrekte Trajektorien wurden mit vier Fehllagen (medial, lateral, superior, superolateral; Versatz 2,0 – 3,5 mm) verglichen. Bohren, Gewindeschneiden und Eindrehen erfolgten standardisiert, Drehmomente wurden erfasst und statistisch ausgewertet.

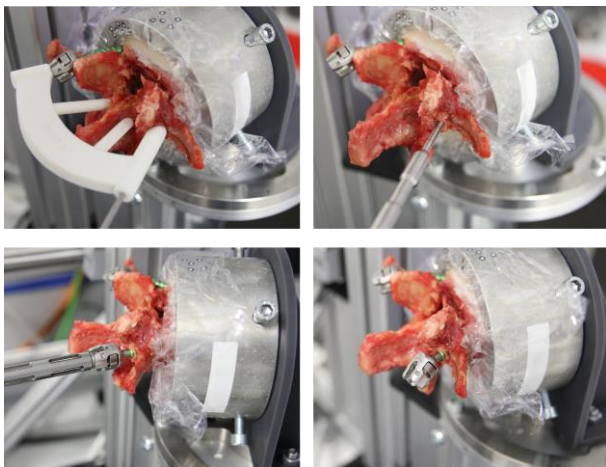


Abb. 1: Einbringen der Schrauben (a) Vorbohren mit vorgefertigter Bohrschablone (b) Gewindeschneiden (c) Einbringen der Schrauben (d) Beidseitig implantierte Wirbelkörper

Ergebnisse: Fehllagen zeigten keine signifikanten Unterschiede zu korrekten Trajektorien (Gewindeschneiden: $p = 0,944$; Eindrehen: $p = 0,693$). Auch thorakal vs. lumbal ergab keine Effekte. Ein signifikanter Unterschied bestand allein zwischen kor-

rekter Trajektorie und superolateraler Fehllage beim Bohren ($p = 0,038$).

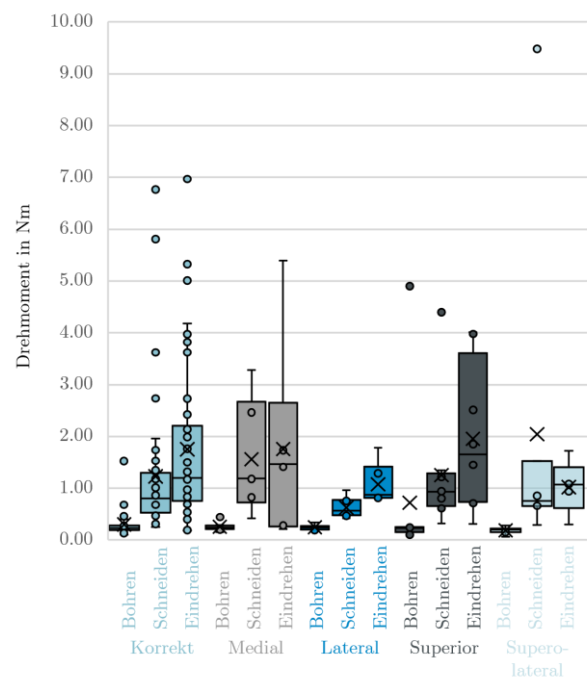


Abb. 2: Ergebnisse der Phasen Bohren, Gewindeschneiden und Eindrehen für korrekte Trajektorien im Vergleich zu einzelnen Fehlstellungen

Diskussion: Unter standardisierten Bedingungen erwies sich das Drehmoment nicht als konsistenter Echtzeitindikator für Fehllagen. Ergänzende intraoperative Verfahren sind erforderlich, um die Sicherheit der Pedikelschraubenplatzierung zu erhöhen.

Förderung: Diese Studie wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Fördernummer: ZIM KK5575501SK3) finanziert. Die Zuwendungsgeber hatten keinen Einfluss auf das Studiendesign, die Datenerhebung und -analyse.



LOKAL AUFGELÖSTE, PHANTOMKALIBRIERTE VBMD-BESTIMMUNG ENTLANG GEPLANTER SCHRAUBEN- UND BOHRTRAJEKTORIEN IN 3D SLICER

Robin Heilmann (1, 2), Stefan Schleifenbaum (1,2), Georg Osterhoff (2)

1. ZESBO – Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Universität Leipzig; 2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und plastische Chirurgie, Universität Leipzig,

Einleitung: Für die Planung pelviner Schrauben wird in CT-basierten Workflows meist nur die Geometrie beurteilt. Die lokal verfügbare Knochenqualität entlang der tatsächlichen Trajektorie bleibt unberücksichtigt, ist aber für die Verankerung relevant. Ziel war die Umsetzung eines voll in 3D Slicer ablaufenden Workflows zur Ermittlung trajektoriebezogener vBMD-Profile.

Methoden: Bei der CT-Aufnahme wird ein Bone Density Calibration Phantom (6 H200, 6 CaHA-Einsätze: 0–800 mg/cm³ in gewebeäquivalentem Gehäuse, Höhe 200 mm) nah an das Scanobject in das Scanvolumen gelegt (vgl. Abb. 1).

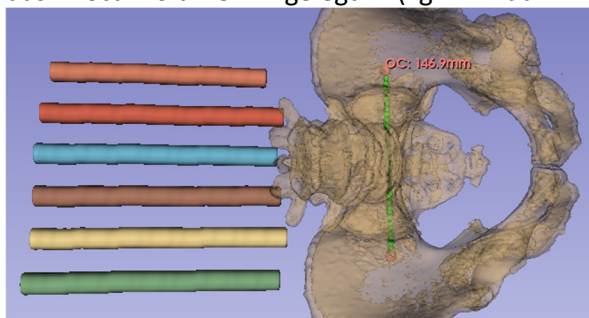


Abb. 1 Volumen-Rendering des knöchernen Beckens inkl. transiliosakralen Trajektorie, Sampelvolumen und Calibration Phantom

Ein neu entwickeltes Slicer-Script segmentiert das Phantom halbautomatisiert, liest die HU der sechs CaHA-Stufen aus und berechnet daraus eine lineare HU→CaHA/vBMD-Kalibrierfunktion (z.B. $vBMD = a \cdot HU + b$, inkl. Toleranzen der Einsätze). Anschließend definiert der Anwender eine Markup-Curve (Spline) für die gewünschte Schrauben-/Bohrtrajektorie. Entlang dieses Splines werden in äquidistanten Abständen zylindrische Segmente erzeugt (frei wählbar Durchmesser D, Samplinghöhe h). Für jedes Segment werden über Segment Statistics die mittleren HU bestimmt und mit der zuvor aus dem Phantom abgeleiteten

Kalibrierfunktion in lokale vBMD-Werte umgerechnet. Präsentiert werden die Daten als Tabelle oder als Diagramm (vgl. Abb 2).

Ergebnisse: Der Workflow konnte in Testdatensätzen vollständig innerhalb von Slicer durchgeführt werden, zusätzliche Software war nicht erforderlich. Für typische pelvine Schraubenlängen von 100–140 mm ergaben sich bei $h = 4$ mm etwa 25–35 auswertbare Segmente pro Trajektorie. Die Phantomkalibrierung ermöglichte die Überführung der HU in vBMD in patientenspezifischen CTs und machte lokale Unterschiede (kortikale Durchtritte vs. spongiöse Abschnitte) sichtbar. Beispielhaft zeigen wir ein Becken, an dem sich deutliche vBMD-Schwankungen zwischen kortikalen und spongiösen Abschnitten entlang der Transiliosakralen Bahn darstellen. Die finale Auswertung der übrigen Becken steht aus.



Abb. 2: Beispielhafter Verlauf des mittleren vBMD über Länge der Transiliosakralen Trajektorie (Segmentdimension $h=4 \times D=5$ mm)

Diskussion: Die Methode koppelt Planung und quantitative vBMD-Bewertung direkt in Slicer und bildet damit die Basis für künftige, datengetriebene Optimierungen von Eintrittspunkt, Richtung und Schraubenlänge. Die Auflösung ist über D und s steuerbar; die Phantomeinlage erhöht die Vergleichbarkeit zwischen Datensätzen.



EVALUATION OF CONTACT MECHANICS IN CARTILAGE DEFECT REPAIR USING A NEW HYDROGEL MATRIX FOR AUTOLOGOUS CHONDROCYTE TRANSPLANTATION AND MINCED CARTILAGE IMPLANTATION

Parisa Pourostad (1), Nele Gosse(1), Maeruan Kebbach(1),

Janine Waletzko(1), Lisa Schoebel(2), Rainer Bader(1), Christoph Lutter(1), Sina Graeber(1).

1. Department of Orthopaedics, Rostock University Medical Centre, Rostock, Germany

2. Institute of Biomaterials, Department of Materials Science and Engineering, Friedrich Alexander University Erlangen-Nuremberg

Introduction: Several surgical approaches have been developed to improve hyaline cartilage regeneration and restore physiological joint mechanics following traumatic cartilage defects. This experimental study aims to evaluate the biomechanical performance of a novel hydrogel matrix for autologous chondrocyte transplantation and minced cartilage implantation for the treatment of full thickness cartilage defects.

Methods: Three fresh-frozen female cadaveric knee joints (age: 79 ± 6.9) were tested under axial compressive loading using a universal testing machine (Z050, ZwickRoell). A 150 N load was applied for 5 seconds at a rate of 10 mm/min with the knee in full extension. Contact mechanics were recorded using K-Scan 4000 pressure sensors (Tekscan, Inc., Boston, MA, USA). A full-thickness cartilage defect ($\varnothing$ 10 mm) was created in the load-bearing area of the medial femoral condyle. Ionically and enzymatically cross-linked alginate dialdehyde gelatine (ADA-GEL) [1], which served as a hydrogel matrix, was mixed under constant stirring and applied to the cartilage defect in two conditions: hydrogel alone and as a hydrogel minced cartilage (HMC) scaffold. The cartilage used for mincing was obtained from the knee specimens during defect preparation. Additionally, defects were filled with fibrin glue (TISSEEL, Baxter, Unterschleißheim, Germany) and minced cartilage (FMC scaffolds) as control group [2]. Each specimen was evaluated before and after defect creation and with the defect filled with 3 different materials: hydrogel, HMC scaffold, FMC scaffold. Data were analysed using MATLAB (R2023a, MathWorks, Natick, MA, USA). Paired t-test was conducted to evaluate significant differences.

Results: Fig. 1 shows the contact mechanics of the medial knee joint compartment. The force was significantly lower for FMC scaffolds compared to

intact cartilage ($p=0.02$). All three materials reduced the difference between the defect and the intact cartilage in terms of contact area. The mean pressure showed a statistically significant reduction between intact cartilage and defect filled with hydrogel ($p=0.009$) or HMC scaffold ($p=0.02$). None of the three materials showed a significant difference in peak pressure compared to intact cartilage.

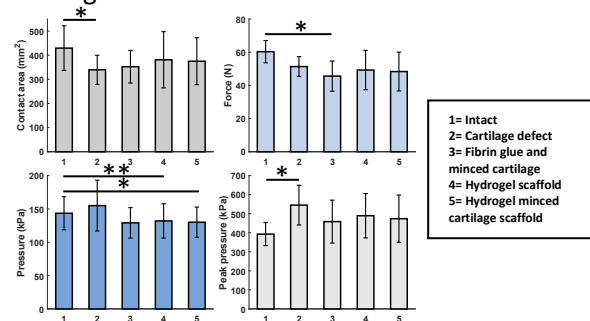


Fig. 1: Contact mechanics of the medial knee compartment (* $p<0,05$, ** $p<0,01$).

Discussion: The new hydrogel matrix showed promising results, showing no significant difference between HMC scaffolds and intact cartilage in maintaining contact area and peak pressure. Further studies with a larger number of cadaveric knee samples are recommended to confirm these findings.

References

- Distler, T. (2020) Ionically and Enzymatically Dual Cross-Linked Oxidized Alginate Gelatin Hydrogels with Tunable Stiffness and Degradation Behavior for Tissue Engineering. *ACS Biomater Sci Eng.* 13;6(7):3899-3914. doi: 10.1021/acsbomaterials.0c00677.
- Moser, LB. (2025) Minced cartilage for focal cartilage defects-A comprehensive systematic review of surgical techniques in clinical studies, animal studies and basic research studies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 33(10): 3571-3591. doi: 10.1002/ksa.12608.



MECHANISCHE UND TRIBOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG UNTERSCHIEDLICHER GLASLOTBESCHICHTUNGEN AUF BIOKERAMIKEN

Angelika Nisalke (1), Ulrike Burmeister (2), Cornelia Lork (3), Hermann Lang (2), Rainer Bader (1)

1. Forschungslabor für Biomechanik und Implantattechnologie, Universitätsmedizin Rostock, Deutschland;
2. Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Universitätsmedizin Rostock, Deutschland;
3. ZM Präzisionsdentaltechnik GmbH, Rostock, Deutschland

Einleitung: Aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen an die Oberfläche von keramischen Implantaten [1] stellen Beschichtungen eine Möglichkeit dar, die zeit- und kostenaufwendige Oberflächenbehandlung der Keramik zu umgehen. Eine Beschichtung aus Glaslot könnte in der Gelenk-Endoprothetik eine verbesserte Wettbewerbsfähigkeit der Biokeramik gegenüber anderen Materialien bedeuten. Im Dentalbereich soll die Glaslotbeschichtung zusätzlich helfen, den Verschleiß des antagonistischen, natürlichen Zahnes durch die keramische Zahnkrone zu reduzieren. Ziel dieser experimentellen Arbeit ist es, verschiedene Glaslote tribologisch und mechanisch zu charakterisieren.

Methoden: Keramische Probekörper, beschichtet mit verschiedenen Glasloten (DCM GmbH Rostock), wurden mithilfe der folgenden drei Tests untersucht. Zuerst wurde der Reibkoeffizient mit dem Pin-on-Disk-Versuch ermittelt. Die Glaslotoberfläche wurde dabei gegen ultrahochmolekulares Polyethylen (UHMW-PE) getestet.

Zur Bestimmung der Ritzfestigkeit bzw. der kritischen Normalkraft der Glaslotoberfläche wurde ein Ritztest durchgeführt. Der Test fand in Anlehnung an die ISO 20502 statt.

Des Weiteren wurde die Haftabzugsfestigkeit der Glaslotbeschichtung bestimmt. Der Test wurde in Anlehnung an ASTM F1147-05 durchgeführt.

Ergebnisse: Der Reibkoeffizient der verschiedenen Glaslotbeschichtungen unterscheidet sich nur geringfügig, mit Werten zwischen 0,0857 und 0,0859 (Abb. 1 links). Die Ergebnisse des Ritztests variieren zwischen 4,8 N und 21,3 N (Abb. 1 rechts). Beim Haftabzugstest erreichten die verschiedenen Glaslote Werte von 23,3 MPa bis 27,7 MPa.

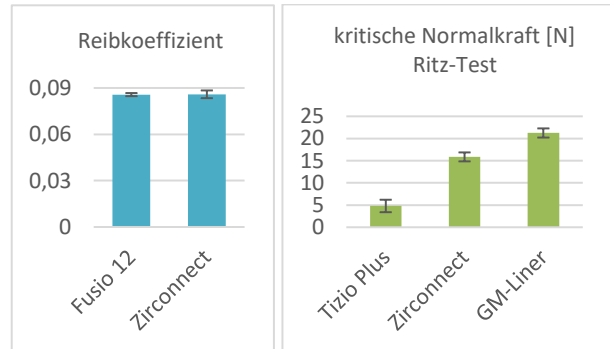


Abb. 1: Ergebnisse des Pin-on-Disk-Versuchs (links) und des Ritztests (rechts) von verschiedenen Glaslotbeschichtungen auf keramischen Probekörpern

Diskussion: Der Reibkoeffizient der verschiedenen Glaslote ist vergleichbar mit dem der Paarung Kobalt-Chrom gegen UHMW-PE, einem Standard in der Gelenk-Endoprothetik [2].

Die Haftabzugsfestigkeit aller Glaslote hat den in der Norm vorgegebenen Schwellenwert von 22 MPa erreicht.

Der Ritztest zeigt, dass die Glaslote eine unterschiedliche kritische Normalkraft aufweisen. Dies kann auf unterschiedliche Härtegrade der Glaslote zurückgeführt werden.

Hinweise: Die Autoren danken dem Ministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Tourismus und Arbeit, M-V sowie dem TBI Technologie-Beratungs-Institut GmbH für die Unterstützung des Projekts LOTOBIO (TBI-1-032-W-011).

Referenzen

1. Turger et al, BioMed Eng OnLine 12 (1), S. 84, 2013
2. Kim et al, Int. J. Precis. Eng. Manuf. 12 (6), S. 1111-1118, 2011



MODELLING LESION GROWTH AND ITS IMPACT ON FEMURS WITH METASTATIC BONE DISEASE USING CT BASED FINITE ELEMENT ANALYSIS

Abbas Rizvi (1), Chloe E.H. Scott (2,3), Sohan Seth (4), A. Hamish Simpson (3), Pankaj Pankaj (1)

1. School of Engineering, The University of Edinburgh, UK; 2. Edinburgh Orthopaedics, Royal Infirmary of Edinburgh, UK; 3. Edinburgh Medical School, The University of Edinburgh, UK; 4. School of Informatics, The University of Edinburgh, UK;

Introduction: The spread of primary cancer to distant organs such as bones in advanced disease results in metastatic bone disease (MBD). Areas affected by MBD develop into abnormal tissue called lesions. These bone lesions decrease the overall load-bearing capacity and increases the risk of fractures. CT-based finite element (FE) analyses have been employed for risk evaluation, suggesting that cortical involvement significantly raises fracture risk [1]. In this study, we developed a method for modelling lesion growth and examined its impact on femoral stiffness as an indicator for fracture initiation.

Methods: Using our automated process, we applied reaction-diffusion model to simulate the propagation of metastasis front on subject-specific CT-scans. Figure 1 shows a transverse slice of a scanned femur with overlay of a growing lesion from an initial sphere to ellipsoids after 40 and 50 growth iterations. Using ScanIP, all models were meshed with calculated material properties and exported to Abaqus.

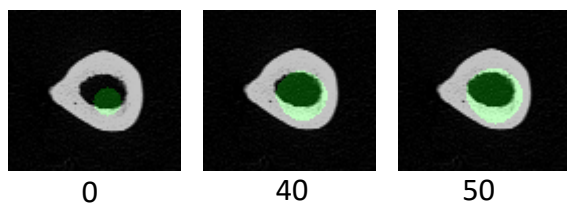


Fig. 1: Sample lesion sizes after growth iterations

FE analysis was performed with loads representing 7.5 times the average body weight [1] with single-legged stance [2].

Results: For demonstration, we have shown cases with lesion of 10 mm diameter after 0, 40, and 50 growth iterations at the proximal medial and mid-shaft.

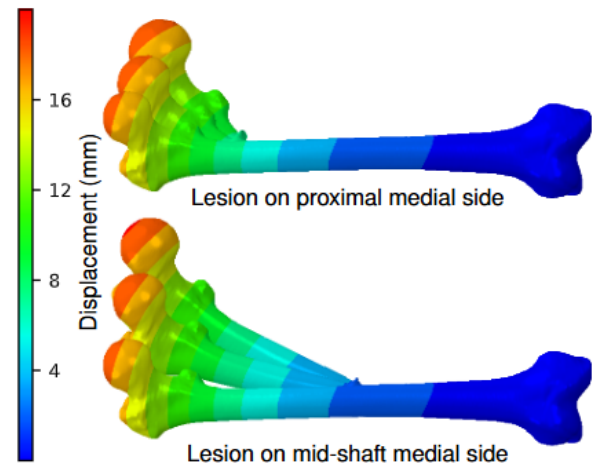


Fig. 2: Displacement distribution (exaggerated)

We compared how principal strain values in the vicinity of lesion locations and femur stiffness are affected by growth. Figure 2 shows the impact of lesion growth on displacement after 0, 40, and 50 iterations. The difference in displacement with and without-lesion is shown through the deformed shapes, exaggerated by 200 times.

Discussion: While failure initiation in bone is known to depend on principal strains, we therefore used both strain and stiffness to examine how lesion growth affects the femoral stiffness.

Notes: This research was supported by Higher Education Commission Pakistan, which provided financial support for the first author. Their funding is gratefully acknowledged.

References

1. Eggermont F, Bone 2020;130:115101
2. Levadnyi et al, Proc Inst Mech Eng 2021;235(1):17–27



THE EFFECT OF DIFFERENT SEMAGLUTIDE CONCENTRATIONS ON CHONDROCYTES AND OSTEOBLAST IN VITRO (UP TO 16 DAYS)

Victoria Horbert (1), Georg Matziolis (1), Anna-Maria Vogel (1)

1. Universitätsklinikum Jena, Experimentelle Orthopädie am Campus Eisenberg, Waldkliniken Eisenberg
Klosterlausnitzer Str. 81, 07607 Eisenberg

Introduction: Semaglutid is an innovative drug that was originally developed for the treatment of type 2 diabetes, but has also become known for its remarkable effect on weight loss in obesity. As a GLP-1 receptor agonist, Semaglutide mimics the action of the endogenous hormone GLP-1 (glucagon-like peptide-1). It has to be taken lifelong, so that potential side effects on bone and cartilage tissue may become relevant. In this study, we therefore investigated the influence of different drug concentrations on chondrocytes and osteoblasts over a cultivation period of 16 days.

Methods: Osteoblasts (SaOS-2) and chondrocytes (C20A4) were seeded in 24-well plates and treated with 7.5 nM/ml, 15 nM/ml, 30 nM/ml, 60 nM/ml and 120 nM/ml Semaglutide, and the medium (containing Semaglutide) was changed every three days. Samples were collected every two days and analyzed by live/dead staining, XTT, alkaline phosphatase and Western blot.

Results: The different concentrations of Semaglutide showed no significant differences in chondrocyte vitality. This is also reflected in the results of the XTT measurements and the determination of alkaline phosphatase activity. In contrast, osteoblasts showed a partially significant decrease in vitality compared to the untreated control after 16 days in vitro. The XTT measurement, on the other hand, showed an increase over the cultivation period with only slightly differences between the concentrations. The alkaline phosphatase activity showed also an increase until day 14 of in vitro culture, with a decrease thereafter (day 16). Interestingly, we observed some differences between the different concentrations, with the highest concentration of Semaglutide showing the lowest alkaline phosphatase activity compared to the other concentrations.

Discussion: Our in vitro studies showed no or only slightly toxic effects on the viability of chondrocytes and osteoblasts over a cultivation period of 16 days. However, these tests were performed only with cell lines and for a short period of time (16 days). Further studies, including primary human chondrocytes and osteoblasts, and a longer test period are needed to draw further conclusions regarding effects on osteoblasts and chondrocytes.

Notes: The authors are grateful to Ulrike Körner for expert technical assistance. The authors declare no conflict of interests.

DGfB
2026
18.-20. März, Hamburg



PORTABLE GAIT-ASYMMETRY DETECTION USING LOW-COST HARDWARE AND MACHINE LEARNING

Victor Lange Machado Carneiro (1), Carlos Chillón Geck (1), Sarah Abels (1), Joaquín Peralta Abadía (1), Thorsten A. Kern (2)

1. GaitXpert, Hamburg, Germany; 2. Institute for Mechatronics in Mechanics, Hamburg, Germany

Introduction: Traditional gait analysis systems, though effective, are typically costly and confined to controlled environments [1]. With recent advances in machine learning (ML) and sensor technologies, portable gait analysis systems have been proposed [2]. However, these innovations still have not found their way out of research and clinical environments to conduct gait analysis in everyday contexts, due to a lack of approaches that obtain relevant personal gait information from the large amount of data being collected.

Methods: The method used in this study to conduct portable gait analysis is based on acceleration data and is divided into two steps:

1. *Gait-phase detection algorithm:* A long-short-term-memory (LSTM) network is used to automatically segment the complete gait cycle.
2. *Asymmetry detection:* Two methods are used to detect gait asymmetries during two gait phases, i.e. heel strike and double-support time:
 - *Spatio-temporal analysis*, which is a common analysis to detect anomalies in individual gait when compared to “golden standards”.
 - *Amplitude and signal-shape analysis.* The dynamic movement patterns of the pelvis are analyzed, going beyond deviations from the golden standards.

Signal amplitudes are obtained from acceleration data collected by a wearable placed at the sacrum. The signal amplitudes are used to detect asymmetrical impacts during heel strikes and double-support times.

By measuring gait asymmetries at the pelvis, not only can spatio-temporal parameters be extracted, but the dynamics of pelvic movement during gait can also be analyzed. The wearable is depicted in Figure 1, including all its hardware components.

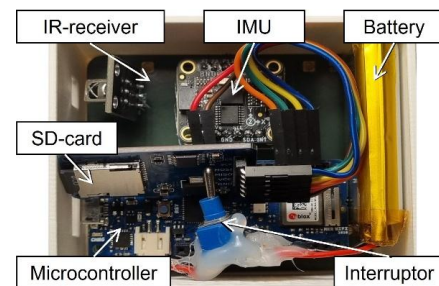


Fig. 1: Hardware components of the wearable forming the portable gait analysis system.

Results: A validation test was conducted with 15 participants to validate the accuracy of the IMU measurements. The system was tested using a treadmill with load cells to detect double-support times. The asymmetry depicted in Figure 2 is linked to a rotated pelvis, a result of a past cruciate ligament injury reported by a participant.

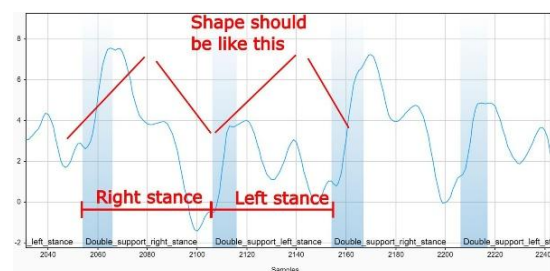


Fig. 2: Asymmetry detected during validation.

Notes: GaitXpert is a StartUp currently funded by the EXIST program.

References

1. A. A. Hulleck, D. Menoth Mohan, N. Abdallah, M. El Rich, and K. Khalaf, Present and future of gait assessment in clinical practice: Towards the application of novel trends and technologies, *Front. Med. Technol.*, 4, 2022
2. E. Digo, E. Panero, V. Agostini, and L. Gastaldi, Comparison of IMU set-ups for the estimation of gait spatio-temporal parameters in an elderly population, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part*, 237:1, 61–73, 2023



MESSUNG DER PATELLARSEHNEN-DEHNUNG IN VIVO ALS INDIKATOR DER MECHANISCHEN BEANSPRUCHUNG BEI KRAFTÜBUNGEN

Falk Mersmann (1), Theresa Domroes (1), Sebastian Bohm (1), Adamantios Arampatzis (1)

1. Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaften, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland

Einleitung: Die Dehnung einer Sehne unter Belastung bestimmt maßgeblich deren mechanische Beanspruchung. Dehnungen von 4,5 - 6,5 % scheinen effektiv die Adaptation von Sehnen zu fördern [1], wohingegen Dehnungen > 9 % bei hohem Belastungsvolumen einen Risikofaktor für Überlastungsbeschwerden darstellen können [2]. Die tatsächliche Dehnung und Beanspruchung von Sehnen bei klassischen Kraftübungen sind jedoch bislang unbekannt. Demnach untersucht die vorliegende Studie die Dehnung der Patellarsehne in vivo bei Übungsvariationen in dem Knieextensionsgerät und der Beinpresse als Indikator der Beanspruchung.

Methoden: Mittels Ultraschallbildgebung wurde bei 22 jugendlichen Athleten die Dehnung der Patellarsehne in beiden Geräten bei unilateraler Ausführung mit 40, 60 und 80 %, sowie isolierter Belastung in der Flexionsphase (i.e. überwiegend exzentrische Kontraktion) bei 100 % und 120 % des konzentrischen Einwiederholungsmaximums (1RM) gemessen. Zudem wurde die elektromyographische (EMG) Aktivität der Knieextensoren und der antagonistischen Muskulatur registriert. Die Datenauswertung erfolgte mittels linear gemischter Modelle. Darin wurde auch die Möglichkeit zur Vorhersage der auftretenden Dehnung basierend auf der Last sowie der Sehnendehnung bei einer maximalen isometrischen Kontraktion ($\epsilon_{\max}$) geprüft.

Ergebnisse: Es zeigte sich in beiden Geräten und Übungsvariationen ein sign. Effekt der Last und Bewegungsrichtung, mit höheren Dehnungen bei höheren Lasten, sowie in der Extension im Vergleich zur Flexion (Abb. 1). Selbiges war hinsichtlich der agonistischen sowie antagonistischen EMG-Aktivität zu beobachten. Eine individuelle Vorhersage der Dehnung mittels $\epsilon_{\max}$ war jedoch nicht mit hoher Genauigkeit möglich ($R^2 \leq 0.51$).

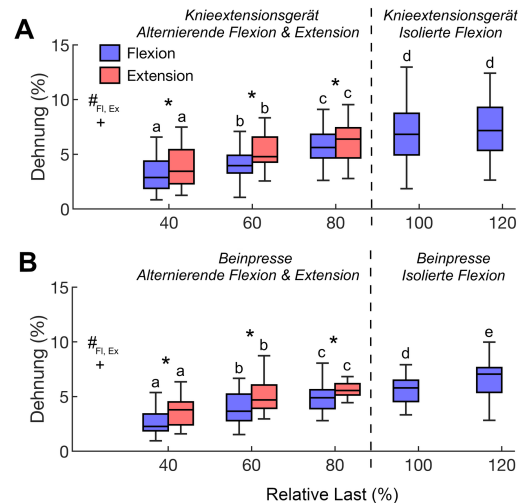


Fig. 1: Dehnung der Patellarsehne in Knieextensionsgerät (A) und Beinpresse (B). # sign. Effekt v. Last, + Richtung bzw. # Interaktion. Buchstaben kennzeichnen sign. post-hoc Kontraste innerhalb Flexion/Extension, * sign. Unterschied zw. Flexion und Extension. $\alpha = 0.05$.

Diskussion: Um adaptionswirksame Dehnungen der Patellarsehne von 4,5 bis 6,5 % zu erreichen, ist bei unilateralen Übungen im Knieextensionsgerät und in der Beinpresse eine Last von etwa 70 % 1RM bzw. 80 % zu wählen. Dabei läge die Dehnung während der Extension eher im oberen, in der Flexion im unteren Teil des Zielbereichs, da zum Überwinden der Last höhere resultierende Drehmomente notwendig sind. Die Aktivität der Antagonisten trägt vermutlich darüber hinaus dazu bei, dass während der Extension höhere Dehnungen auftreten und erschwert die Vorhersagbarkeit der Dehnung mittels $\epsilon_{\max}$.

Hinweise: Gefördert durch das BISP (ZMI4-070703/23-24).

Referenzen

1. Arampatzis et al, J Biomech, 43:3073-79, 2010.
2. Mersmann et al, Sports Med Open, 9:83, 2023.



HINGE AXIS ROTATION LEADS TO AN INCREASE IN POSTERIOR KNEE TRANSLATION IN OWHTO PATIENTS

Theresa Kandels (1), Julius Watrinet (2,3), Julian Fürmetz (2), Klaus Radermacher (1)

1. Chair of Medical Engineering, Helmholtz Institute for Biomedical Engineering, RWTH Aachen University, Aachen, 52074, Germany, 2. Department of Trauma Surgery, BG Unfallklinik Murnau, Murnau, Germany, 3. Department of Sports Orthopedics, Technical University of Munich, Munich, Germany

Introduction: Open-wedge high tibial osteotomy (OWHTO) is an established surgical technique for treating varus malalignment in medial compartment osteoarthritis. Its primary objective is to realign the mechanical axis toward the lateral compartment, redistributing the load within the knee joint [1]. While previous investigations have examined the influence of hinge-axis rotation on the proximal tibial geometry, its implications for knee joint kinematics remain insufficiently explored [2–4]. In the present study, anterior tibial translation is investigated as one representative parameter of the altered kinematics potentially resulting from an increased posterior tibial slope after OWHTO.

Methods: The dataset comprised twelve 3D surface models reconstructed from CT scans of patients who underwent OWHTO. After segmentation and landmark identification, the osteotomy plane was defined according to Jörgens et al. [2] and opened by 8°. To analyse the influence of hinge-axis orientation, the medial osteotomy cut was rotated from medial to anteromedial in 10° increments (0°–30°). Knee kinematics were evaluated using multibody simulations in the AnyBody Modeling System™ (AnyBody Technology A/S, Aalborg, Denmark), based on a validated TKA model developed by our group [5]. Simulations covered 5°–95° flexion, excluding full extension and deep flexion for numerical stability. The resulting changes of morphological parameters were determined.

Results: Table 1 shows a proportional relationship, with the posterior tibial slope increasing by an average of 1.2° (± 0.1°) per 10° rotation of the hinge axis. In the kinematic analysis, this morphological change was accompanied by an increase in anterior

tibial translation (ATT). Figure 1 illustrates the relationship between these two parameters.

Tab. 1: Changes in morphological parameters with hinge axis rotation after osteotomy

Hinge Axis	HKA (°)	IPTS (°)	mPTS (°)	TT_TG (mm)	ISI (-)	MPTA (°)	CTS (°)
0 deg	182.5 (±2.3)	5.4 (±2.7)	10.8 (±4.2)	15.1 (±4.5)	1.0 (±0.1)	90.9 (±2.0)	-0.7 (±2.0)
10 deg (Δ)	-0.2 (±0.1)	1.2 (±0.1)	1.2 (±0.2)	0.1 (±0.1)	0.0 (±0.0)	-0.1 (±0.0)	0.1 (±0.0)
20 deg (Δ)	-0.5 (±0.2)	2.4 (±0.1)	2.4 (±0.2)	0.3 (±0.1)	0.0 (±0.0)	-0.4 (±0.1)	0.4 (±0.1)
30 deg (Δ)	-1.1 (±0.4)	3.5 (±0.1)	3.6 (±0.2)	0.4 (±0.2)	0.1 (±0.0)	-0.9 (±0.1)	0.9 (±0.1)

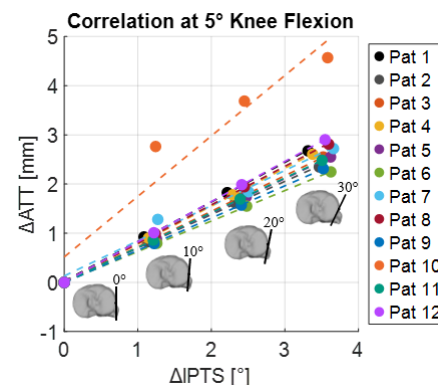


Fig. 1: Correlation between changes in posterior lateral tibial slope and anterior tibial translation for different hinge axis rotation (here at 5° flexion)

Discussion: The observed proportional relationship between hinge rotation and posterior tibial slope closely aligns with the findings of Jörgens et al. [2] (1.7° per 10°), supporting the validity of the present model. The altered hinge axis leads to an increased posterior tibial slope with an anterior tibial translation and posterior shift of the tibiofemoral contact point [6].

References

- Amendola et al, Surgery of the knee, 2009.
- Jörgens et al, Journal of orthopaedic surgery, 2022.
- Wang et al, The american journal of sports medicine, S. 2411-2418, 2009.
- Chang et al, Journal of orthopaedic science, 2021.
- Ehreiser et al, Biomechanics, 2025.
- Giffin et al, The american journal of sports medicine, 2004.



BIARTICULAR ENERGY TRANSFER MECHANISMS OF THE GASTROCNEMII MUSCLES ARE INVOLVED IN MANAGING BODY ENERGY DURING PERTURBED GAIT

Morteza Ghasemi (1,2), Sebastian Bohm (1,2), Christos Theodorakis (1,2), Falk Mersmann (1,2), Adamantios Arampatzis (1,2).

1. Department of Training and Movement Sciences, 2. Berlin School of Movement Sciences, Humboldt Universität zu Berlin, Berlin, Germany

Introduction: The biarticular gastrocnemii muscles are able to transfer mechanical energy between the ankle and knee joints [1]. In-phase fluctuations between these joints enable such energy transfer [2]. This study investigated the involvement of biarticular mechanisms of the gastrocnemii muscles and their association with total center of mass (CoM) energy management during early- and late-stance drop-like gait perturbations.

Methods: Unpredictable (without prior experience) and adapted (with prior experience) drop-like perturbations were introduced during early (n=18) and late (n=19) stance. Whole-body kinematics and bilateral gastrocnemii (GM, GL) EMG were recorded. The CoM energy, muscle activation and the energy transfer potential of the gastrocnemii muscles, i.e. the fraction of contact time when the two joints were in phase [2], were determined.

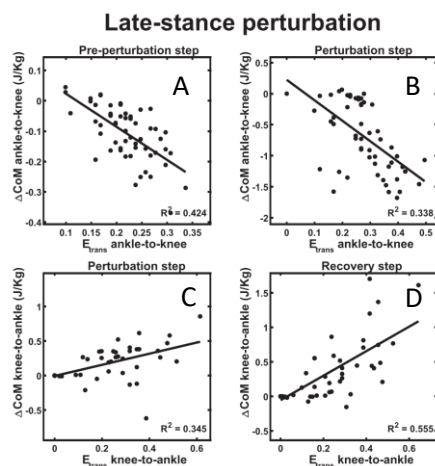


Fig. 1: Relationships between ankle-to-knee joint energy transfer potential and changes in total center of mass energy during the ankle-to-knee transfer phase of the pre-perturbation (A) and perturbation (B) steps, and between knee-to-ankle joint energy transfer potential and changes in total center of mass energy during the knee-to-

ankle transfer phase of the perturbation (C) and recovery (D) steps in late-stance perturbation.

Results: Knee-to-ankle joint energy transfer potential was significantly higher ($p < 0.05$) during perturbation and recovery steps across both perturbation types compared to unperturbed walking, correlating with elevated CoM energy in the respective transfer phase (Fig. 1C,D). This increase was consistently accompanied by higher gastrocnemii activation in knee-to-ankle energy transfer phase in both perturbation types. The ankle-to-knee joint energy transfer potential increased significantly ($p < 0.05$) during the perturbation step in late-stance, and during the pre-perturbation step of the adapted condition in early-stance. This increase was associated with greater total CoM energy absorption during the ankle-to-knee energy transfer phase (Fig.1A,B). Additionally, gastrocnemii activation was also higher in ankle-to-knee energy transfer phase of perturbation step during perturbed conditions.

Discussion: For the first time, we have reported a link between the potential for energy transfer between the ankle and knee joints via the biarticular gastrocnemii muscles and the changes in total CoM energy during drop-like perturbations. Furthermore, the increased potential for energy transfer between the ankle and knee joints through the biarticular gastrocnemii muscles, combined with their active status during the energy transfer phases, indicates a significant involvement of biarticular mechanisms in body CoM energy management during gait perturbations.

References

1. van Ingen Schenau GJ (1989) Hum Mov Sci 8: 301-337.
2. Theodorakis C et al. (2025) Eur J Appl Physiol:1-15



INCREASED TRUNK FLEXION MIGHT EXPLAIN KNEE FLEXOR-EXTENSOR SYNERGY CO-ACTIVATION IN KNEE OSTEOARTHRITIS PATIENTS

Lasse Hansen, Jana Rogoschin, Igor Komnik and Wolfgang Potthast

Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Germany

Introduction: Reduced numbers of muscle synergies in patients with knee osteoarthritis (KOA) have frequently been reported and attributed to the merging of synergies, reflecting increased co-activation of muscle pairs during gait [1]. This merging of synergies is often interpreted as reduced neuromuscular flexibility or as a compensatory mechanism to stabilize the joint in response to ligament laxity and cartilage degeneration. However, such interpretations may neglect whole-body mechanical factors that might drive similar activation patterns. In this study, we used inverse dynamics based on 3D motion capture data from a previously analyzed KOA cohort [2] to test the hypothesis that increased sagittal trunk flexion contributes to the observed merging of knee flexor-extensor synergies.

Methods: Sixteen-channel surface EMG and 3D motion capture data were collected from twenty patients with medial KOA and twenty healthy controls during level walking. Muscle synergies were extracted using non-negative matrix factorization [3]. The synergy-level co-activation index of knee flexor and -extensor synergy was calculated [4]. Trunk kinematics and external joint moments were obtained using OpenSim 4.2; Statistical Parametric Mapping (SPM) was used to identify phases of the stance phase (SP) in which trunk flexion, normalized hip joint moments and knee flexor-extensor synergy co-activation differed between groups.

Results: KOA patients exhibited significantly increased synergy co-activation during 11-18% of the SP ($p = .016$), elevated external hip flexion moments (10-63% of SP, $p < .001$) and increased trunk flexion across the entire SP ($p = .003$; see Fig. 1).

Discussion: Increased trunk flexion throughout the entire SP evoked a shift of the hip joint moment

curve towards increased flexion. This moment peaks at around 10-20% SP, matching the timespan of significant increase in synergy co-activation.

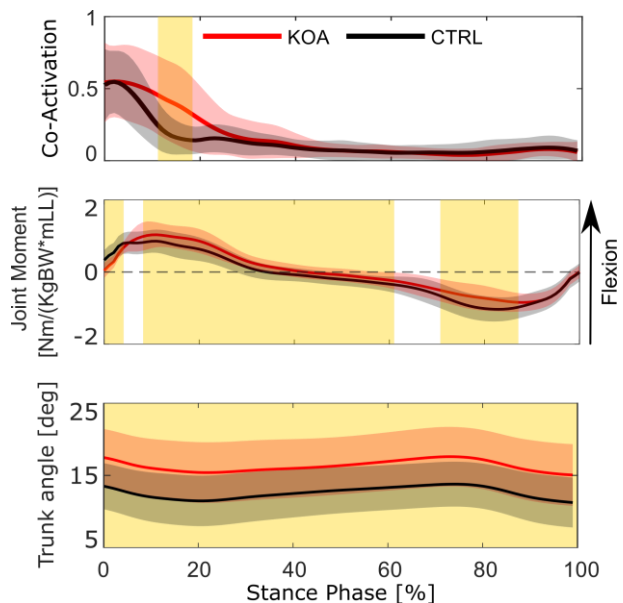


Fig. 1: Mean and SD Flexor-Extensor synergy co-activation, external hip joint flexion moment, and trunk flexion of the KOA and CTRL cohorts. Highlighted timespans indicate statistical significance ($p < .05$).

The biarticular hamstrings are key contributors to the altered knee flexor synergy; however their increased activation is likely caused by their role as hip extensors. The increased flexor-extensor co-activation in KOA might be associated with altered whole-body gait mechanics rather than solely reduced neuromuscular flexibility or compensatory co-contraction.

References

- [1] Roelker et al; 2021, PLoS ONE
- [2] Hansen et al; 2025, J Mot Behav
- [3] Santuz et al; 2017, Int. J. Neur. Syst.
- [4] Rudolph et al; 2000, Knee Surg Sports Traumatol



NEW APPROACHES IN SHOULDER BIOMECHANICS: TRANSITION FROM STATIC MUSCLE LOADING TO ACTIVE AND ROBOT-ASSISTED MOTION

Alina Albert (1), Julia Sußiek (1), Willi Engelmann (1), Jane Gehling (2), Jens Wermers (2), Michael J. Raschke (1), J. Christoph Katthagen (1)

1. Department of Trauma, Hand and Reconstructive Surgery, University Hospital, Münster, Germany
2. Department of Engineering Physics, Münster University of Applied Sciences, Steinfurt, Germany

Introduction: The glenohumeral joint has the highest range of motion at the expense of a high risk of instability, requiring passive and active stabilization [1]. Most ex vivo simulators rely on static loading, limiting their ability to replicate physiological shoulder motion. We present a robot-assisted setup that enables active shoulder movement through controlled loading of the rotator cuff (RC) muscles and three deltoid (DELTA) parts. The system allows for the measurement of joint forces, moments, and muscle loads, while simultaneously capturing joint kinematics.

Methods: The active shoulder simulator (Fig. 1) combines an industrial robot (KUKA KR 60-3) with six muscle actuators (Nema8/Nema23). Muscle forces were applied via anatomically routed steel cables with in-line force sensors. Tendons were sutured; infraspinatus and teres minor functionally combined. Long head of the biceps (LHB) tension was statically set to 22 N; arm weight restored by a 3.2% body mass load [2]. Control was implemented via a custom LabVIEW-based PID system, enabling closed-loop regulation of each actuator.

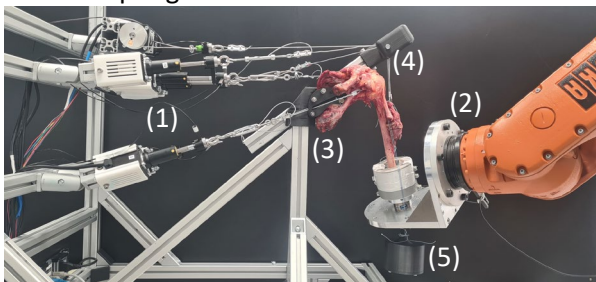


Fig. 1: Active shoulder simulator: six muscle actuators (1), humerus on robotic arm (2), scapula on 3D shell (3), deltoid pulleys (4), LHB weight (5).

In the test protocol, internal rotation and horizontal abduction torque were held at 0° by the robot, while muscle actuators applied predefined force ratios [3] at 20°, 40°, and 60° abduction. The robot compensated for arising abduction torques as well as forces. Torques, total muscle force, joint force, and motion were recorded.

Results: Active humeral abduction from 0° to 60° was successfully reproduced in 18 shoulders under predefined muscle force ratios. The robotic system enabled precise torque compensation and real-time measurement of joint reaction forces and kinematics.

The total applied muscle force (Fig. 2) increased from 82 N/kg at 20° to 107 N/kg at 60°, with a diminishing rate.

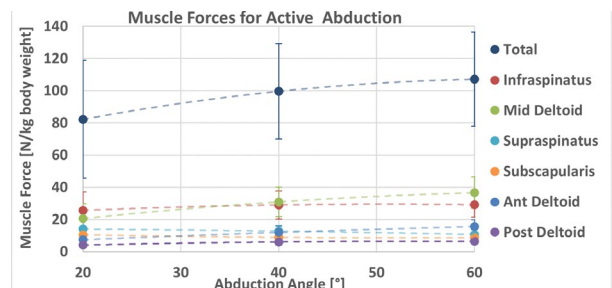


Fig. 2: Muscle forces (n=18) of RC, DELTA, and total force for active abduction at 20°, 40°, and 60°. Intermediate values are represented by polynomial trendlines.

Discussion: The system enables controlled simulation of active shoulder motion and precise analysis of joint kinetics and kinematics. A key innovation is the ability to apply targeted forces and motions via an industrial robot, enabling standardized clinical tests and analysis of muscular coordination and stabilizing contributions. While active abduction was reliably reproduced, full closed-loop control remains a challenge. Future work will focus on integrating real-time feedback and implementing machine learning-based motion control to enable dynamic, complex, and physiologically accurate shoulder movement.

Funding: This work was funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, No.: 528833393).

References

1. Lugo et al., Eur. J. Radiol, 68(1):16–24, 2008
2. Wuelker et al., J. Biomech., 28(5), 489–99, 1995
3. Kedgley et al., J. Biomech., 40(13):2953–60, 2007



FATIGUE REDUCES AMPLITUDE AND SPATIAL HOMOGENEITY OF BICEPS FEMORIS LONG HEAD ACTIVATION DURING ECCENTRIC CONTRACTIONS

Alexander Fassbender (1), Kiros Karamanidis (2,3), Wolfgang Potthast (1)

1. Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Cologne, Germany; 2. Department of Sport Science, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Koblenz, Koblenz, Germany; 3. School of Allied Health and Life Sciences, London South Bank University, London, UK

Introduction: The biceps femoris long head (BFLh) is the most frequently injured hamstring in sports-related activities, with injuries typically occurring during high-speed running and primarily affecting the proximal region [1]. One frequently discussed factor is muscle fatigue, which can affect muscle activation and may lead to different stress and strain distributions within various regions of the BFLh. In this study, we aimed to assess the effects of muscle fatigue on regional amplitude and spatial homogeneity of muscle activation within the proximal and distal regions of the BFLh during eccentric contractions.

Methods: 12 healthy men (27.2 ± 3.6 y) performed maximal eccentric knee flexions at $40^\circ/\text{s}$ and $200^\circ/\text{s}$ on an isokinetic device. Two 8×4 HDsEMG grids ($\sim 7.5 \times 3.5$ cm) recorded proximal and distal BFLh activity. Outcomes were normalized amplitude (nRMS) and modified entropy (ModEn; higher = spatially more homogeneous activation). Linear mixed models (Fatigue $\times$ Region $\times$ Velocity) included by-subject intercepts, random slopes, Satterthwaite df, and Holm-adjusted contrasts.

Results: nRMS and ModEn decreased after fatigue (Fig. 1). nRMS declined by 17% ($p = 0.031$), more clearly at $200^\circ/\text{s}$ ($p = 0.040$) than $40^\circ/\text{s}$ ($p = 0.072$). ModEn decreased ($p = 0.015$) and was higher distally than proximally ($p = 0.030$), significant at $200^\circ/\text{s}$ ($p = 0.027$). ModEn was lower at $200^\circ/\text{s}$ than $40^\circ/\text{s}$ ($p = 0.018$), with a larger proximal decrease ($p = 0.013$). Fatigue had no significant impact on regional activation or velocity-dependent changes.

Discussion: Fatigue reduced both nRMS and ModEn, reflecting lower activation amplitude and spatial homogeneity. These changes may increase local mechanical stress, elevating the risk of overstrain or overuse following fatiguing muscle contractions. Proximal BFLh homogeneity was lower than distal, aligning with its frequent injury location.

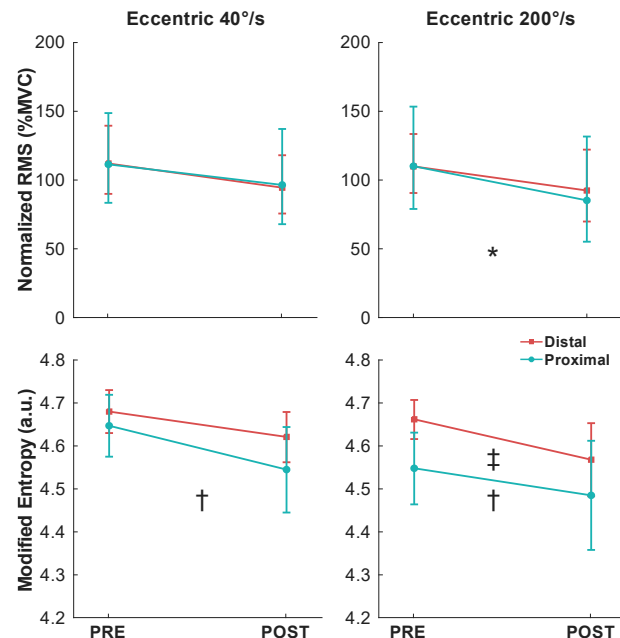


Figure 1. Estimated marginal means (95% CI) for normalized RMS (nRMS; top, back-transformed) and modified entropy (ModEn; bottom) during eccentric contractions at $40^\circ/\text{s}$ (left) and $200^\circ/\text{s}$ (right) in distal (orange) and proximal (teal) BFLh. * nRMS PRE > POST at $200^\circ/\text{s}$; ‡ ModEn Proximal < Distal at $200^\circ/\text{s}$; † ModEn Proximal $40^\circ/\text{s}$ > $200^\circ/\text{s}$ (all Holm-adjusted).

The absence of regional nRMS differences likely reflects the maximal contractions used here, consistent with reduced regional amplitude effects at high intensities [2]. Spatial homogeneity was lower at $200^\circ/\text{s}$ due to the proximal region. Overall, the proximal BFLh shows less homogeneous and more velocity-sensitive activation, and fatigue further reduces amplitude and homogeneity. These combined features may affect local mechanical stress and increase the risk of overstrain or overuse during high-demand or fatigued states.

References

1. Crema, M.D. *et al.* 2016. *J Sci Med Sport*. 19(4):317–322.
2. Fassbender, A, Karamanidis, K, Potthast, W. 2025. *Eur J Appl Physiol*. 1–13.



CAN WE USE OPTIMAL CONTROL SIMULATIONS TO ROBUSTLY ESTIMATE BODY SEGMENT INERTIAL PARAMETERS

Theodoros Balougias (1), Markus Gambietz (1), Anne D. Koelewijn (1)

1. Chair of Autonomous Systems and Mechatronics, FAU Erlangen-Nürnberg, Germany

Introduction: Estimating the correct body segment inertial parameters (BSIPs) is crucial for processing optical motion capture data accurately, as modelling errors lead to increased dynamic inconsistency [1]. Commonly, BSIPs are scaled based on ratios with respect to full body height and segment lengths or using MRI images. However, these weight ratios are based on unrepresentative datasets [2], while MRI is labour-intensive and expensive. Therefore, we propose to instead estimate BSIPs directly from experimental walking data, since the motion of the musculoskeletal model should best match that of the participant when the BSIPs approach the actual parameters. Here, we show that we can robustly estimate BSIPs using this method and investigate the convergence speed of several implementations.

Methods: Experimental data can be processed by solving an optimal control problem (OCP), to create a gait simulation that minimizes an objective related to tracking error [3]. Commonly, the optimization variables are the model states and control inputs (neural excitations). Here, we also include the segment mass and inertia parameters in the optimization variables to optimize them for the experimental marker and ground reaction force data.

We tested the method in 2D on treadmill walking of a single participant at 1.3 m/s speed [4], using a single averaged gait cycle. We evaluated the robustness by starting the OCP from three separate initial guesses. The first was linearly scaled from a reference model by height and weight. We perturbed the initial guess twice by multiplying each rigid body mass by a random value between 0.7-1.3, while keeping the model mass equal to body weight. We further tested robustness by evaluating left-right symmetry in the optimized parameters. We also compared convergence speed between optimizations without optimized BSIPs, and with and without an objective to keep the original mass-to-inertia ratio.

Results: The OCPs converged to the same optimal values from all initial guesses, while bilateral asymmetry was small (Fig.1). Optimizing for mass and inertia leads to slower solution convergence than

when they were kept constant (7546 vs. 1842 iterations) as complexity increases by adding more optimizable variables. Convergence is, however, accelerated when the mass-to-inertia objective is added (5493 vs. 7546 iterations).

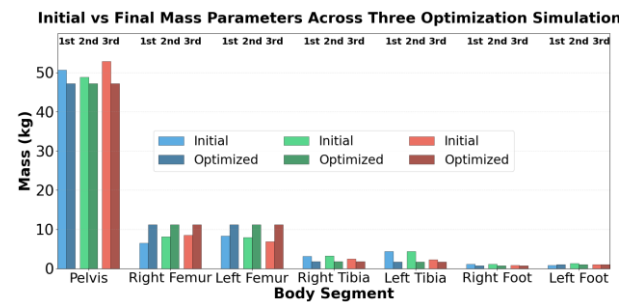


Fig. 1: Different initial masses lead to same result

Discussion: We demonstrated that the OCP method can robustly estimate mass and inertial parameters from walking data across different initial guesses, while achieving bilateral symmetry. Furthermore, adding a mass-to-inertia ratio objective improved convergence speed. The next critical step is to validate our estimates against ground-truth BSIPs measured via MRI. Inaccuracies occur through both measurement and model errors [1], such that optimizing the BSIPs could overfit to the combined error, distorting the parameter estimates. Therefore, we need to ensure that the estimated BSIPs approach actual participant values before implementing the method. In conclusion, given validation to ground-truth data, the OCP method with constraints is suitable to estimate BSIPs for musculoskeletal models.

Notes: This work was funded by the Deutsche Forschungs gemeinschaft (DFG) – SFB 1483 – Project-ID 442419336, EmpkinS.

References

1. Wechsler I et al, Front Bioeng Biotechnol, 12:1386874, 2024.
2. Dempster WT et al, Am J Anat, 120:33–54, 1967.
3. Nitschke M et al., PeerJ, 11:e14852, 2023.
4. Koelewijn AD et al., PloS one, 14(9), e0222037, 2019.



HAMSTRING AND BACK MUSCLE ACTIVITY IN A HORSE WITH AND WITHOUT HINDLIMB GAITERS

Franzisk C. Wagner (1), Marta Kulikowska (2), Adrian P. Harrison (3)

1. Institute of Anatomy, Histology and Embryology, Faculty of Veterinary Medicine, Leipzig University, Leipzig, Germany; 2. Equi Physiq, Græsted, Denmark; 3. Faculty of Health & Medical Sciences, Dept for Veterinary and Animal Sciences (IVH), Section for Physiology, University of Copenhagen, PAS, Frederiksberg C, Denmark

Introduction: The M. semitendinosus is crucial for hock stability in the horse. It is part of the hamstring group of muscles that works in combination with tendons, ligaments and fascia to support the hind limb during movement, but also provides stability whilst standing. Weakness or injury to the semitendinosus is known to compromise hock stability [1]. We hypothesize that the use of gaiters will influence the activity of the M. longissimus dorsi, since we expect that stabilizing the lower portion of the superficial dorsal line affects the functional continuity of this myofascial chain [2].

The aim of this pilot test was to assess the gaiter's impact on muscle activity of the hamstrings and back.

Methods: The activity of M. semitendinosus and M. longissimus dorsi of a Danish Warmblood horse were measured with acoustic myography (AMG) using a SOFi M2 (Advanced Myographic Technologies, LLC, Ocala, FL, USA) unit and an AMT piezo sensor placed on the body of the muscle (see Figure 2) and held in place using adhesive bandage (Snøgg AS, Kristiansand, Norway). Signals were recorded at 100 per second at a 15 dB gain setting and were transferred to a smartphone for data storage [3, 4]. The horse was walked and trotted with and without gaiters. The gaiters are placed on the horse's cannon bone and sucked free of air.

Results: Upon application of the gaiter, the AMG signal in M. semitendinosus was seen to decrease in real time whilst the horse stood and had the gaiter fitted (see Fig. 1). During walk and trot, the muscle's activity on both sides of the body were more equally balanced.

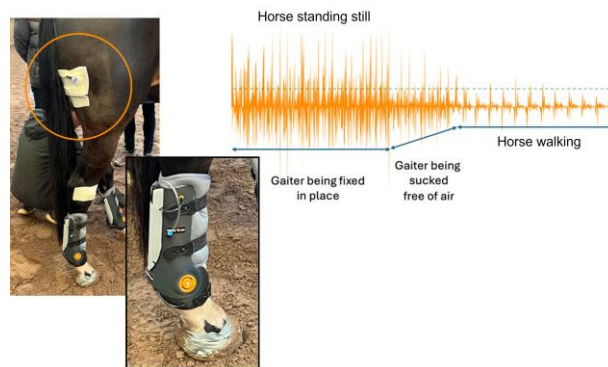


Fig. 1: AMG sensor on the right hind limb on M. semitendinosus, with gaiter placed below it. A close up of the gaiter showing the tubing used to suck out air, and through elastic material in the lining assist in stabilization. An AMG recording showing the activity in the semitendinosus whilst the gaiter was being fitted, during the period of air removal and a subsequent period of walking.

Discussion: This is only a trial, but it provides initial evidence that the gaiters have a beneficial effect in terms of hind limb balance and efficiency of muscle use at both walk and trot. This could indicate that the force produced by the muscles is being more efficiently transferred to the joints, leading to better coordination and contributing to the improved balance scores.

References

1. St. George et al, Front Vet Sci, 9:989522, 2022.
2. Elbrønd and Schultz, Med Res Arch, 3, 2015.
3. Harrison, Clin Physiol Funct Imaging, 38: 312-325, 2017.
4. Bartels et al, Curr Res Physiol, 2: 22-29, 2020.



ESTIMATING THE PATIENT-SPECIFIC GRAVITATIONAL LOADS ACTING ON THE SPINE

Benedikt Schlager (1), Peter Stauffert (1), Robert Graf (2), Hendrik Möller (2), Jan S. Kirschke (2), Hans-Joachim Wilke (1)

1. Institute of Orthopaedic Research and Biomechanics, Centre for Trauma Research Ulm, Ulm University Medical Centre, Germany; 2. Department of Diagnostic and Interventional Neuroradiology, School of Medicine, TUM University Hospital, Technical University of Munich, München, Germany

Introduction:

A key challenge for the biomechanical analysis of patient-specific orthopedic treatment is identifying the loads which act within the individual patient. Goal of this study was to quantify the gravitational loads and load distribution which act on the individual spine, as well as correlate these loads with the individual spinal shape.

Methods:

Full body MRI images from a random retrospective subset of 270 patients (121 female, 149 male, age 21-72 years, BMI 17.4-50.6) of the German National Cohort (NAKO) were analyzed. 112 anatomical structures within the torso including the abdominal organs, lung, heart, spine and muscles were segmented using the DL-tools VibeSegmentator¹, SPINEPS² and MuscleMap³. The extracted parameters included the volume and center position of each anatomical structure, as well as the morphological parameters of the spinal shape (Fig). Density values for each anatomical structure was extracted from literature to estimate their weight. The coordinates were transformed to a subject-specific coordinate system and the moments were calculated by the lever arm relative to the spinal vertebra L5. The data was evaluated statistically, and compared with metric data of the patients, as well as literature values.

Results:

The estimated weight of the torso correlated significantly with the measured weight of the subjects ($R^2=0.9$). The overall induced mean moment within the sagittal plane was 0.17 ± 0.27 Nm, while the structures positioned anterior of the spine induced a mean moment of 0.3 ± 0.2 Nm and the posterior structures -0.16 ± 0.05 Nm. The subcutaneous fat induced a mean moment of 0.06 ± 0.09 Nm. No significant correlations between the shape of the spine and the weight or moments were obtained.

Discussion:

Using segmented organs within the torso appears to be a promising approach for quantifying the distribution of gravitational loads acting on the individual spine. The main limitations of this study include the lying posture during MRI acquisition and the general methodological challenges of measuring and validating in-vivo loads. Nevertheless, the findings represent an important step toward individualized biomechanical analysis and orthopedic treatment.

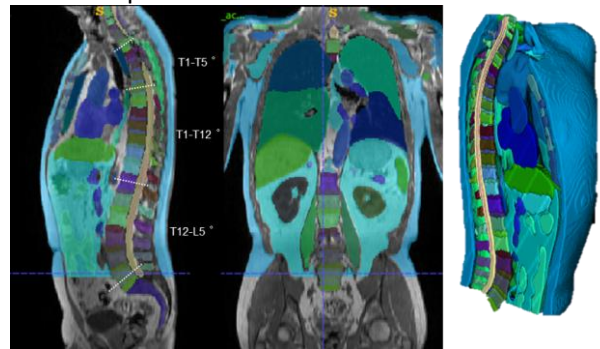


Fig: Extracted anatomical structures from MRI images to estimate spinal loading

Acknowledgment: Funded by the German Research Foundation grant 422439870 (WI 1352/23-2). We thank all participants who took part in the NAKO study and the staff in this research program, as well as their funding agencies.

References

1. Graf, R., et al. VIBESegmentator: full body MRI segmentation for the NAKO and UK Biobank. *Eur Radiol* (2025).
2. Möller, H., et al. SPINEPS—automatic whole spine segmentation of T2-weighted MR images using a two-phase approach to multi-class semantic and instance segmentation. *Eur Radiol* 35, 1178–1189 (2025)
3. McKay MJ, Weber KA 2nd, et al. MuscleMap: An Open-Source, Community-Supported Consortium for Whole-Body Quantitative MRI of Muscle. *J Imaging*. 2024;10(11):262. Published 2024 Oct 22.



A PORTABLE DEVICE FOR MEASURING PASSIVE METATARSOPHALANGEAL JOINT BENDING STIFFNESS

Jan-Peter Goldmann, Carl Wenzel, Uwe G. Kersting

Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Cologne, Germany

Introduction: Assessing passive metatarso-phalangeal joint (MPJ) bending stiffness is increasingly relevant for optimizing athletic performance and clinical monitoring. Evidence suggests that higher MPJ stiffness is associated with improved running economy and jump height in athletes [1,2], while increased plantar soft tissue stiffness is observed in individuals with diabetic foot syndrome [3]. This study aimed to 1) develop a portable, pneumatically driven device to measure passive MPJ stiffness in training facilities and clinical settings and 2) establish normative data from healthy, active individuals to contextualize findings in elite athletes and patients.

Methods: Passive MPJ bending stiffness of 184 feet (105 healthy, physically active participants; 61 m, 44 f; 28 ± 10 yrs, 72 ± 13 kg, 1.77 ± 0.1 m; forefoot length 7.9 ± 1.3 cm) was measured with a custom-made, pneumatically driven device (Fig. 1). The toes were placed on a forefoot plate, with the first MPJ aligned to the plate's rotational axis. A pneumatic cylinder (Festo, Esslingen, Germany) applied pressure to move the forefoot plate upwards and to dorsiflex the toes. Pressure was regulated by a control unit and valves (Festo). Forefoot plate angle was measured using a potentiometer (MCP05, linearity 1%, Megatron, Putzbrunn, Germany). The MPJ angle was defined as the angle between the rearfoot and the forefoot plate, and stiffness was defined as the torque needed to deform the forefoot plate by 60° , normalized to forefoot length. Slow angular velocities ($45\text{--}55^\circ/\text{s}$) were used to prevent stretch-reflex and viscoelastic responses [4]. After determining the force required to move the forefoot plate to 60° , this force was applied ten times to the toes. The mean of the last five trials, accounting for creep and velocity effects, was used for analysis. The within-day and between-day reliability of the device was excellent ($\text{ICC} = 0.99$; $p < 0.001$) [5]. Statistics: t-test.

Results: Passive MPJ stiffness averaged 33.9 ± 15.4 N/rad, ranging from 14.0 to 92.4 N/rad with significant ($p < 0.001$) intraindividual differences between the two feet of 6.3 N/rad (14%). Men (40.7 ± 16.3 N/rad) exhibited significantly ($p < 0.001$, $d = 1.08$) higher MPJ stiffness compared to women (25.2 ± 8.4 N/rad).

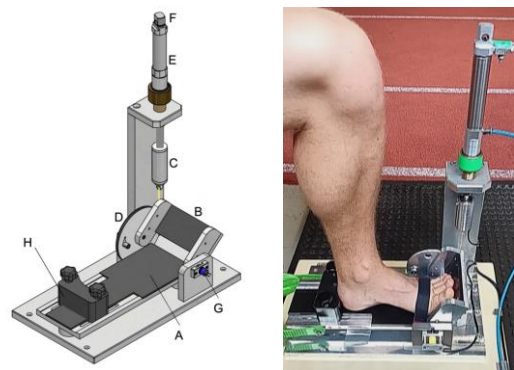


Fig. 1: Technical drawing of the device (left). A: Rearfoot and midfoot plate, B: Forefoot plate, C: Load cell, D: Deflection pulley, E: Pneumatic cylinder, F: Pressure control valve, G: Potentiometer, H: Heel cap; Foot fixed in the device (right).

Discussion: The large interindividual variability and sex-based differences in soft-tissue properties underscore the importance of individualized assessment. In this healthy, active cohort, the 14% intraindividual side difference appears physiologically 'normal' and provides reference values for assessing asymmetries in elite athletes or post-injury cases.

References

1. Jia et al., J Sports Sci, 40: 638-45, 2022.
2. Man et al., Gait Posture, 49: 303-08, 2016.
3. Klaesner et al., Arch Phys Med Rehabil, 83: 1796-1801, 2002.
4. Blanpied & Smidt, J Biomech, 25: 29-39, 1992.
5. Wenzel et al., Proceedings of the ISB, 2025.



RATE OF FORCE DEVELOPMENT OF HUMAN TOE FLEXOR MUSCLES

Carl Wenzel, Uwe G. Kersting, Jan-Peter Goldmann

Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Cologne, Germany

Introduction: Maximum strength of the short and deep toe flexor muscles (TFM) is essential for running [1] and jumping performance [2] in sports and for preventing falls in the elderly [3]. During these rapid or sudden movements, the foot can experience forces reaching up to three times body weight within the initial 50 ms of stance. Thus, the deep muscles of the foot must be able to exert high forces in a short period of time in order to respond to external loading after initial ground contact. However, there are no studies available that examined the rapid force production of the TFM. This study aimed to 1) measure the rate of force development (RFD) of the TFM and 2) establish normative data in healthy, physically active adults to contextualize values observed in elite athletes and patients.

Methods: RFD of the TFM was assessed in 156 feet from 82 healthy, physically active participants (45 m, 37 f; 26.8 ± 7.8 yrs, 71.3 ± 12.6 kg, 1.77 ± 0.1 m; forefoot length 8.0 ± 0.7 cm) using a custom-made dynamometer (Fig. 1). The toes were placed on a forefoot plate with the first metatarsophalangeal joint aligned to the plate's mechanical axis and the shank oriented vertically. The forefoot plate was adjusted to a 25° dorsiflexion angle to ensure optimal force-length relationship of the TFM [4]. The plate was connected to a 0.5 kN strain-gauge load cell (1000 Hz, U9C, HBK, Darmstadt, Germany, accuracy $< 0.2\%$, non-linearity $< 1\%$, verified with a material testing machine, Zwick GmbH, Ulm, Germany) via a pulley (radius = 0.057 m) and a Teflon-coated wire. The load cell amplifier accuracy was $< 0.5\%$. The ankle and the forefoot were fixed with straps. After familiarization, participants performed three maximal isometric TFM contractions ("as fast and as hard as possible"), where the best trial was used for statistics. Contraction onset was detected using a ± 3 SD baseline noise threshold [5]. RFD was calculated over the first 100 ms from onset. Statistics: Wilcoxon-signed-rank test ($\alpha = 0.05$).

Results: Across all feet, RFD was 998.4 ± 540.2 N/s and ranged from 108.5 N/s to 3360.3 N/s (Fig. 1). Significant ($p < 0.001$) inter-foot asymmetry was observed with side-to-side differences of 245.7 N/s (23.0%). Men (1253 ± 548.1 N/s) demonstrated significantly ($p < 0.001$) higher RFD values than women (701.1 ± 345.4 N/s).

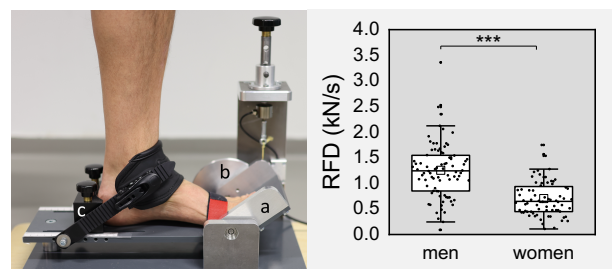


Fig. 1: Dynamometer for measuring RFD of TFM during isometric contractions (left). a) Forefoot plate, b) Deflection pulley, c) Heel cap with ankle fixation; RFD for men and women (right); * $p < 0.001$ between groups.**

Discussion: The RFD of the TFM varied widely between individuals, with notable side-to-side asymmetry (23%) and substantial sex differences (79% higher in men). Compared to the leg extensor muscles, TFM showed a 5-fold reduced rapid force production, noting that these values reflect different RFD definitions (mean 0–100 ms vs. maximal slope) [6]. Therefore, cross-study comparisons must be interpreted cautiously and should match methodology and instructions.

References

1. Tourillon et al., J Sports Sci, 42: 814–824, 2024.
2. Goldmann, J Sports Sci, 31: 424–433, 2013.
3. Mickle et al., Clin Biomech, 24: 787–791, 2009.
4. Goldmann et al., J Anat, 221: 187–194, 2012.
5. Maffiuletti et al., Eur J Appl Physiol, 116: 1091–1116, 2016.
6. Sahaly et al., Eur J Appl Physiol, 85: 345–350, 2001.



LOCAL PARAMETRIZATION OF A GEODESIC MUSCLE PATH MODEL FOR COMPLEX UPPER LIMB MOVEMENTS

Simon Heinrich (1), Xiyu Chen (1), Saulo Martelli (2,3), Peter Pivonka (2,3), Sigrid Leyendecker (1,2), Maxence Lavaill (2,3)

1. Lehrstuhl für Technische Dynamik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany; 2. School of Mech., Medical & Process Engineering, Queensland University of Technology (QUT), Brisbane, Australia; 3. Centre for Biomedical Technologies, QUT, Brisbane, Australia

Introduction: Musculoskeletal simulations are becoming an ever more important part in analysing, understanding, and predicting human movement. These simulations depend heavily on accurate muscle paths, as the muscle's length and length-change directly affect its force production. The muscle path can be modelled as a taut string wrapping over surfaces, like underlying tissue. A novel model based on geodesics, was recently developed [1] and compared to state-of-the-art muscle wrapping and experimental data [2]. While performing well for simple tasks, the current geodesic model still presents issues related to the global parametrization of muscle path. This led to inconsistent muscle paths during complex motions in multiple planes, such as activities of daily living (ADLs). We present a new local parametrization for the geodesic model that improves its robustness for such complex movements. Further, we investigate to which extent accuracy and plausibility of the muscle paths improves.

Methods: We conduct our investigation based on upper limb models for the elbow and shoulder as in [2], and on movements with different levels of complexity, ranging from uniplanar to spatial with superposed torso movements to emulate ADLs. Based on these movements, we compare the geodesic model with its global parameterization [1] to our local parametrization, parametrizes the muscle path with respect to body fixed instead of a singular global coordinate system.

Results: Our newly proposed local parametrization resolves the limitations of the original global parametrization regarding robustness with respect to complex movements. Fig. 1 shows the triceps length during elbow flexion-extension for a fixed upper arm (red) and an elbow flexion-extension

with superposed abduction in the shoulder (green and blue).

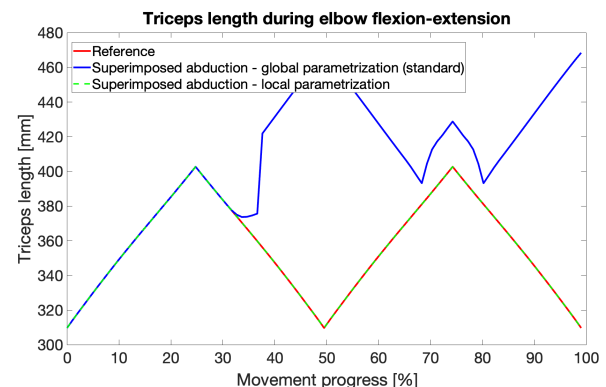


Fig. 1: Triceps length during flexion-extension for two scenarios and global/local parametrization.

Discussion: As seen in Fig. 1, even small additional complexity like a superposed shoulder abduction shows clear limitations for the standard implementation of the geodesic model [1]. Our local parametrization results in the expected muscle path, coinciding with the reference solution, which is even evident for complex multiarticular motions. The local parametrization enables robust muscle path modelling for arbitrary motions, which is crucial for musculoskeletal simulations of complex movement tasks, as well as predictive simulations like optimal control simulations.

Notes: This work was partly funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft – SFB 1483 – Project-ID 442419336, EmpkinS.

References

1. Penner et al, Multibody Syst Dyn, 56:267–287, 2022.
2. Lavaill et al, Multibody Syst Dyn, 2025.



VALIDATION OF A FINITE ELEMENT MODEL OF THE JUVENILE DISTAL FEMORAL GROWTH PLATE

Lucie Hucke (1,2), Jonas Schwer (3), Armin Huß (1), Antonio Gamez (2),
Andreas Seitz (3), Andreas Wittek (1)

1. Biomechanics Laboratory, Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurt am Main, Germany;
2. Department of Mechanical Engineering and Industrial Design, University of Cádiz, Cádiz, Spain;
3. Institute of Orthopedic Research and Biomechanics, Ulm University Medical Centre, Ulm, Germany

Introduction: Correction of leg axis malalignment around the knee by temporary hemiepiphysiodesis is commonly used in adolescents [1]. Despite initially successful axis correction in almost all cases, the recurrence of the malalignment after the end of therapy is considerable [1]. This necessitates a better understanding of the mechanical loading of the growth plate (GP) and particular its changes during hemiepiphysiodesis. We have developed a finite element (FE) model of the distal femoral GP that allows to assess the locally varying stress and strain distributions and their changes during hemiepiphysiodesis [2]. In the current study we validated the model by comparing measured load induced strains to FE predictions.

Methods: Three juvenile porcine knees were obtained from a local slaughterhouse. Using a MRI compatible loading apparatus [3], the knees were imaged load free and under axial compressive loading of 100% and 200% body weight. MRI scans used a 3D proton density-weighted sequence (PD-w) with fat suppression at a spatial resolution of $0.5 \times 0.5 \times 0.5 \text{ mm}^3$. Applying an image registration approach to loaded and unloaded configurations [3], the strain distributions within the GP were obtained. Finite element models were generated by reconstruction of the unloaded configurations from MRI, discretizing the geometry into 1st order elements and using the known loads as boundary conditions. We used linear elastic material parameters from literature (Young's modulus / Poisson-Ratio for bone: 2942 MPa / 0.3, growth plate cartilage: 6 MPa / 0.48) and considered a transition zone between cartilage and bone as well as the ring of Lacroix [2]. Using the FE solver Abaqus the strain distributions in the growth plate were computed. Experimentally and computationally obtained values were compared.

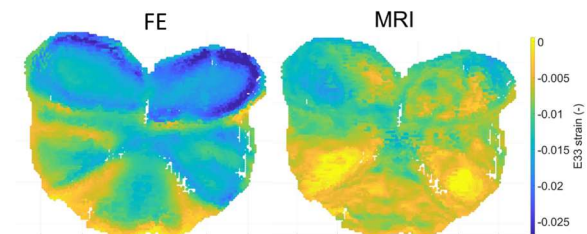


Fig. 1: Comparison of axial compressive stresses obtained from the computational model (FE) and from MRI measurement (MRI).

Results: The qualitative distribution of the axial compressive strain and the shear in the sagittal plane was comparable between MRI measurements and finite element models, showing areas of high and low strains in the same regions of the GP (Fig. 1). Median strain values of both deviated by less than 1% of absolute strain. Local maximum values were overestimated by the FE models by up to 4.6% and 2.2% for compression and shear, respectively, indicating a larger variation of local strain values estimated by the FE model compared to measured strains.

Discussion: Despite the unknown individual material properties of the GP, the FE model was able to estimate qualitative strain distributions well, but overestimated local maximum compression and shear.

References

1. Stief et al., Sci Rep, 14:16060, 2024.
2. Hucke et al., Front. Bioeng. Biotechnol., 11: 1165963, 2023
3. Schwer et al., Front. Bioeng. Biotechnol., 8: 582055, 2020



GENERIC MUSCULOSKELETAL MODELS UNDERESTIMATE HIP JOINT CONTACT FORCES IN INDIVIDUALS WITH TOTAL HIP REPLACEMENT

Hannah Steingrebe (1), Nicola Holetzke (2), Gerda Strutzenberger (2), Stefan van Drongelen (1)

1. Dept. of Trauma Surgery and Orthopedics, University Hospital Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany;

2. Dept. of Medical, Health & Sports Engineering, Management Center Innsbruck, Innsbruck, Austria

Introduction: Total hip replacement (THR) is a common procedure to restore hip function in individuals with severe hip osteoarthritis [1]. Despite functional recovery, hip contact forces (HCF) often remain altered post-surgery [2]. Most studies estimating HCF use generic musculoskeletal (MSK) models which ignore individual bone geometry. Given that higher neck-shaft (NSA) and femoral neck anteversion (FNA) angles increase HCF in simulation studies [3], generic models may misrepresent true loading. Therefore, this study examined the impact of inclusion of personalized bone geometry into MSK models on the estimated HCF in individuals post THR.

Methods: Instrumented gait analysis (8 infrared cameras (Vicon Motion Systems, Oxford, UK), 2 embedded force plates (AMTI, Watertown, MA, USA)) was conducted in 32 individuals (age: 61.2 ± 10.0 years) one year post THR. Three-dimensional HCF during stance were calculated using a generic MSK model (Lernagopal [4], NSA = 121° , FNA = 21°) in OpenSim 4.5 through scaling, inverse kinematics and dynamics, static optimization, and joint reaction analysis. Femoral geometry was extracted from EOS 3D X-rays (EOS Imaging, SA, Paris, France) and implemented in the generic model via the open-source MATLAB-based Torsion Tool [5] to personalize NSA, FNA and varus-valgus deformity (VV) individually and combined. HCF were calculated as before. HCF time curves of the different models were compared using statistical nonparametric mapping (SnPM) [6].

Results: SnPM-ANOVA showed a significant model effect on the vertical HCF from start to 60 % of stance ($p = 0.001$). However, post-hoc analyses revealed no significant differences across all subjects. When grouping subjects by NSA above and below 121° , personalized NSA models differed significantly from the generic model ($p = 0.001$,

Fig. 1). Results on horizontal hip contact forces (AP, ML) and resultant force direction will be available at the time of the conference.

Tab. 1: Femoral and tibial geometry

Parameter	Males (n=17)	Females (n=15)
NSA [$^\circ$]	123.7 ± 5.8	128.2 ± 6.8
FNA [$^\circ$]	16.5 ± 11.2	14.8 ± 13.9
VV [$^\circ$]	-2.4 ± 2.1	-0.8 ± 3.2

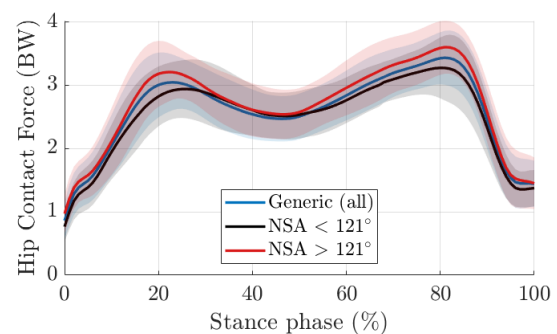


Fig. 1: Vertical hip contact force: Generic vs. personalized NSA

Discussion: This study demonstrated that especially the NSA has substantial influence on hip contact forces with NSA larger than those of the generic model leading to higher HCF. In line with previous studies [7] females showed higher NSA than males (Tab. 1), making them more prone to underestimation of HCF when using generic MSK models.

References

1. Shan et al, Osteoarthr Cartil, 22:389-406, 2014.
2. Wesseling et al, Gait Posture, 61:117-124, 2018.
3. Kainz et al, PLOS ONE, 18:e0291458, 2023.
4. Uhlich et al, Sci Rep, 12:9842, 2022.
5. Veerkamp et al, J Biomech, 125:110589, 2021.
6. Pataky, J Biomech, 43:1976-1982, 2010.
7. Fischer et al, Acta Orthop, 91:53-57, 2020.



INTEGRATION DER KIEFERBEWEGUNG AUF BASIS EINES ULTRASCHALLBASIERTEN REGISTRIERSYSTEMS IN EIN INVERSDYNAMISCHES MEHRKÖRPERMODELL

**Ann-Kristin Becker (1), Iman Soodmand (1), Johann Steinmetz (1), Rayk Seemann (2),
Dennis Perchthaler (3), Rainer Bader (1), Maeruan Kebbach (1)**

1. Universitätsmedizin Rostock, Forschungslabor für Biomechanik und Implantattechnologie (FORBIOMIT),
Deutschland; 2. Seemann Zahntechnik GmbH & Co. KG, Germany; 3. DIERS International GmbH

Einleitung: Die craniomandibuläre Dysfunktion (CMD) ist eine komplexe Kiefergelenkserkrankung, die Auswirkungen auf den gesamten Bewegungsapparat haben kann. Trotz einer Prävalenz von bis zu 12 % wird die systemische Bedeutung häufig unterschätzt [1]. Kieferbewegungsregistriersysteme ermöglichen eine nicht-invasive Erfassung von Bewegungsbahnen [2], jedoch keine Bewertung der zugrunde liegenden Muskelkräfte und der resultierenden Gelenkkräfte. Im Rahmen dieser Arbeit wurden entsprechend registrierte Bewegungsdaten in eine muskuloskelettale Mehrkörpersimulation (MKS) integriert, um den quantitativen Zusammenhang zwischen CMD und den resultierenden Kräften zu untersuchen [3, 4].

Methoden: Für die Kieferbewegungsregistrierung wurden 20 Probandinnen (weiblich, Alter: $32,5 \pm 5,5$ Jahre, BMI: $21,4 \pm 1,5$ kg/m², 13 mit CMD-Symptomen und sieben ohne CMD zur Kontrolle) rekrutiert, die eine zyklische Protrusionsbewegung durchführten [2]. Die 3D-Kieferbewegung wurde mit dem ultraschallbasierten Jaw Motion Analyzer (zebris Medical GmbH, Deutschland) erfasst (Abb. 1A). Nach einer linearen Skalierung (Abb. 1B) des validierten Unterkiefermodells [4] von AnyBody™ (v.7.4.4, AnyBody Technology A/S, Dänemark) auf die Kiefer der Probandinnen wurden die Bewegungsdaten gefiltert (Abb. 1C) und in die inversdynamischen MKS (Abb. 1D) implementiert.

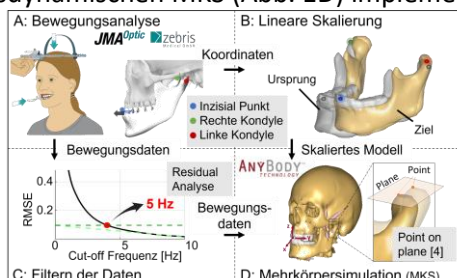


Abb. 1: Integration der Kieferbewegungsdaten in die inversdynamische MKS

Ergebnisse: Die Auswertung der MKS zeigt, dass Probandinnen mit CMD im Vergleich zur Kontrollgruppe größere Kiefergelenkkräfte und höhere Muskelaktivitäten aufweisen, bspw. einen durchschnittlichen Anstieg von 43 % in der Muskelgruppe Pterygoidea (Abb. 2). Des Weiteren ergibt sich eine stärkere Variabilität der Werte bei den Probandinnen mit CMD-Symptomen.

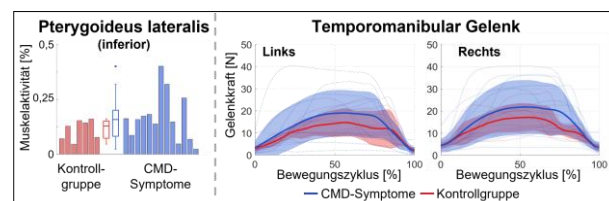


Abb. 2: Beispielhafte Muskelaktivität und Gelenkkraft im Kiefer während der Protrusion

Diskussion: Es zeigt sich eine Tendenz zu erhöhter Belastung im Kiefergelenk bei Personen mit CMD, was die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen zu der gezielten Diagnostik und Therapie unterstreicht. Die Limitationen der vorliegenden computergestützten Untersuchung bestehen in der kleinen Kohortengröße, der vereinfachten Modellanpassung durch lineare Skalierung sowie in der noch ausstehenden experimentellen Validierung der Ergebnisse.

Hinweise: Die Autoren dankt dem DIBASYS-Projektteam für die Unterstützung und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Projektförderung (FKZ: 16KN081073).

References

1. Bonato et al, J Oral Rehabil, 44:9–15 (2017).
2. Mazzetto et al, CRANIO, 35(1):46–51 (2016).
3. Shigemitsu et al, Comput Biol Med, 184:109441, (2025).
4. de Zee et al, J Biomech, 40(6):1192–1201 (2006).



FINITE-ELEMENT ANALYSIS OF THE HUMAN MANDIBULAR BONE: IMPACT OF MODEL INPUT PARAMETERS

**Iman Soodmand (1), Ann-Kristin Becker (1), Jan-Oliver Sass (2), Christopher Jabs (1),
Michael Dau (2), Rainer Bader (1), Maeruan Kebbach (1)**

1. Department of Orthopaedics, FORBIOMIT, Rostock University Medical Center, Rostock, Germany
2. Department of Oral, Maxillofacial Plastic Surgery, Rostock University Medical Center, Rostock, Germany

Introduction: Finite-element (FE) models are essential for investigating mandibular bone biomechanics, yet their predictive reliability depends on how realistically geometry, material properties, boundary conditions, and loading conditions are represented. Previous studies often relied on simplified assumptions, overlooking the complex heterogeneity of bones and the dynamic loading applied to the mandible [1]. We proposed a quasi-static, patient-specific FE model of the mandible and aimed to systematically assess the sensitivity of the model to variations in its input parameters and identify the most influential ones.

Methods: A validated musculoskeletal multibody simulation (MMBS) of the mandible (Anybody Modelling System™ v. 7.4 [2]) was scaled to match the subject's mandibular bone geometry (male, 39) and was sequentially coupled to a patient-specific FE model, developed in Abaqus Standard v. 2022, providing realistic, personalized loading and boundary conditions (Fig. 1.A) to study a unilateral clenching task. The bone was meshed using quadratic tetrahedral elements and assigned heterogeneous material properties [3].

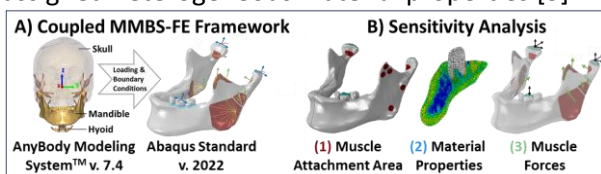


Fig. 1: A) Coupled MMBS-FE computational framework for mandibular bone modelling, B) sensitivity analysis on model input parameters.

For the sensitivity analysis, a baseline FE model using well-established input parameters [1], i.e., fixed boundary conditions, static muscular loading conditions from Koriath and Hannam [4], and homogeneous material properties, was created. Using the baseline model, we investigated how variations (Fig. 1.B) in muscle attachment area

(MAA) to circular, material properties (MP) [3], and applied muscle forces (MF) from [4], generic [2], or scaled-generic MMBS influence the results.

Results: On average, bone material properties affected stress by up to 161% and strain by up to 723%, followed by smaller effects from applied muscle forces (31% each) and minimal influence from MAA (2% on stress, 5% on strain) (Fig. 2).

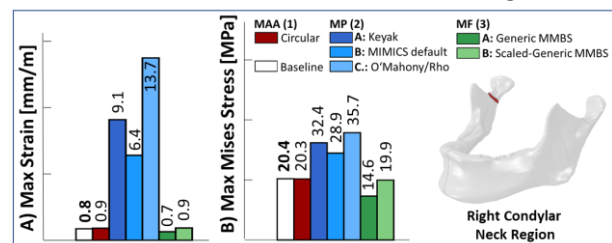


Fig. 2: Effect of model input parameters on A) max. logarithmic strain, B) max. von Mises stress.

Discussion: The coupled MMBS-FE framework successfully predicted mandibular bone biomechanics under personalized, realistic conditions. We found that material properties play the most influential role on the simulation results, whereas the effect of muscle attachment areas is negligible. The findings are expected to guide researchers in developing more realistic computational models of the mandible and benefit medical device manufacturers in designing and optimizing craniofacial implants [5].

Notes: The authors acknowledge the International Team for Implantology (ITI Foundation) for funding this study [Grant No. 1715_2022].

References

1. Merema et al., Oral Dis., 27:42–51, 2021
2. De Zee et al., J. Biomech., 40:1192–1201, 2007
3. Soodmand & Becker et al., Heliyon, 10:24, 2024
4. Koriath & Hannam, J. Dent.Res., 73:56–66, 1994
5. Andres et al., Bioengineering, 12(5):545, 2025



BIOMECHANISCHES VERHALTEN EINER EINSEITIGEN KIEFERGELENKSPROTHESE BEI FUNKTIONALER BELASTUNG MIT UNTERSCHIEDLICHER MUSKELAKTIVIERUNG

Ludger Keilig (1,2), Sophie Rademacher (2), Christoph Bourauel (1), Sabine Linsen (2)

1. Oralmedizinische Technologie, Universitätsklinik Bonn, Bonn, Deutschland; 2. Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffwissenschaften, Universitätsklinik Bonn, Bonn, Deutschland

Einleitung: Wird infolge einer degenerativer Erkrankungen des Kiefergelenkes der Einsatz eines Kiefergelenkersatzes (TMJR) notwendig, so besteht die Wahl zwischen einem uni- und einer bilateralen TMJR, wobei eine unilaterale Versorgung zu einer asymmetrischen Belastung mit Überbelastung des kontralateralen Kiefergelenkes führen kann. Gleichzeitig ist das Zusammenspiel zwischen Kiefergelenk, Okklusion und Muskelaktivierung sehr komplex und vom individuellen Parametern des Patienten beeinflusst. In dieser Studie sollte in einer numerischen Analyse untersucht werden, inwiefern unterschiedliche Muster in der Muskelaktivierung die biomechanische Belastung des Kiefergelenks in einem Patientenfall mit einer unilateralen TMJR beeinflussen.

Methoden: Aus einem anonymisierten Patientenfall standen nehmen einem präoperativen CT-Scan und den CAD-Daten des verwendeten Prothesensystems auch die Daten einer präoperativen beidseitigen Beißkraftmessung (sEMG von M. temporalis anterior und M. masseter superficialis sowie maximale Beißkraft) vor. Die Schädelgeometrie wurde mit Mimics/3matic (Materialise, Belgien) rekonstruiert und die klinisch verwendete Prothese wurde virtuell eingesetzt. Dann wurde das erzeugte Gesamtmodell in die FE-Software Marc/Mentat (Hexagon, Schweden) übertragen. Muskeln wurden mit Federelemente mit dem Muskelmodell nach Hill simuliert. Vier verschiedene Ansätze zur Umrechnung der sEMG-Daten in Muskelaktivierungen wurden simuliert: (M1) ausschließliche Aktivierung der direkt abgeleiteten Muskeln, (M2) proportionale Verteilung nach [1] auf alle Muskelanteile der abgeleiteten Muskeln, (M3) proportionale Verteilung der Gesamtkraft auf abgeleitete Muskeln sowie M. pterygoideus nach [2], und (M4) proportionale Verteilung nach [1] auf abgeleitete Muskeln zuzüglich M. pterygoi-

deus und M. digastricus mit allen Muskelanteilen. Alle nicht aktivierten Muskeln wurden als passive Muskeln simuliert. Es wurden Spannungen und Verzerrungen in Kiefergelenk und Prothese und den Bewegungen des Unterkiefers ermittelt.

Ergebnisse: Mit allen verschiedenen Aktivierungen der Muskelgruppen konnte das Erreichen der maximalen Beißkraft erfolgreich simuliert werden. Die unterschiedlichen Aktivierungen beeinflussten die Bewegung des Unterkiefers (Abb. 1) und die Belastungsmuster in den beteiligten Strukturen. Die Spannungen in der TMJR sank von 20 MPa (M1 und M2) auf 13 MPa (M3) bzw. 12 MPa (M4). Verzerrungen im Diskus auf der gesunden Seite reichten von 12 % (M3) über 16 % (M1 und M4) bis 20 % (M2).

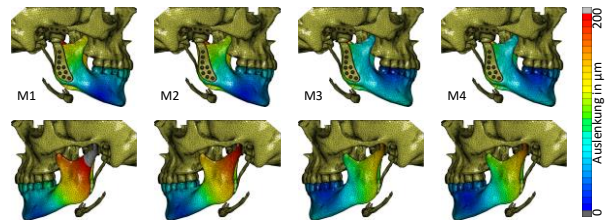


Abb. 1: Auslenkung des Unterkiefers mit TMJR auf der ipsi- (oben) und kontralateralen Seite (unten).

Diskussion: Obwohl nur für einzelne Muskelanteile sEMG-Signale vorlagen, konnte diese Daten zur Herleitung verschiedener Aktivierungsmuster verwendet und erfolgreich simuliert werden. Bei keinem Aktivierungsmuster konnte eine ausgeprägte Asymmetrie der Bewegung festgestellt werden.

Referenzen

1. Nelson, MSc Thesis, Univ. British Columbia 1986
2. Tanaka et al., Med. Eng. Phys., 16:316-322, 1994



CROSS-SHEAR SENSITIVE WEAR TESTING: A MULTISTATION TRIBOMETER WITH TWO-DIMENSIONAL PATH CONTROL

Caroline Scholl (1,2), Jason Steffens (1), Simon Kaddick (1), Christian Kaddick (1), Michael Morlock (2)

1. EndoLab Mechanical Engineering GmbH, Riedering, Germany; 2. Institute of Biomechanics, Hamburg University of Technology, Hamburg, Germany

Introduction: Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) remains the predominant bearing material in tibiofemoral joint replacements [1]. Its wear behaviour is strongly influenced by cross-shear, which is expected to originate in the disruption of molecular chain alignment during multidirectional sliding [2]. In comparison to unidirectional sliding, wear can increase by up to three orders of magnitude [2]. The physiological tibiofemoral wear path resembles a lemniscate [2], but commercially available multi-station pin-on-disc (pod) systems are limited to reciprocating, circular, or rectangular paths, and cannot reproduce arbitrary two-dimensional (2D) trajectories, such as a lemniscate path. As a consequence, the magnitude of cross-shear on wear cannot be assessed, limiting material screening accuracy. The aim of this study was to develop a multi-station pin-on-disc tribometer, capable of following any 2D wear path, and to quantify its measurement uncertainty according to ISO/IEC [3] and NIST [4] guidelines.

Methods: The uncertainty of the newly developed and built 12-station pod was evaluated. Wear testing parameters were according to ASTM F732. Each station was loaded with 225 N, using a pneumatically actuated thruster. Linear reciprocating sliding motion with a length of 50 mm was applied at 50 mm/s using a linear positioning table driven by servo motors. Virgin polytetrafluorethylene (PTFE) pins ($D = 9\text{ mm}$, $L = 15\text{ mm}$) were chosen due to their high wear rate, and tested against polished stainless steel discs ($0.01\text{ }\mu\text{m} < R_a < 0.05\text{ }\mu\text{m}$) in dry conditions at room temperature. Mass loss was determined gravimetrically. The combined standard uncertainty of the wear rate was assessed, incorporating both, type A and type B components

following ISO/IE guide 98-3:2008 and NIST TN 1297.

Results: The mean wear rate was $0.01 \pm 0.0016\text{ mg/cycle}$. The standard deviation of the wear rate of all twelve stations was 15.14% relative to the mean.

Discussion: Normalized to published reference conditions (avg. contact pressure = 4.3 MPa), the wear factor of this study ($0.000534\text{ mm}^3/(\text{Nm})$) deviated by only 5.8% with a comparable standard deviation [5]. The uncertainty analysis provides a transparent basis for comparing wear rates across studies and highlights the key measurement limitations. The developed 12-station pod enables realistic cross-shear exposure during material screening. Future work will extend to reducing the station-to-station variance, testing with UHMWPE, and investigating how contact pressure, contact area, and cross-shear angle, jointly influence wear.

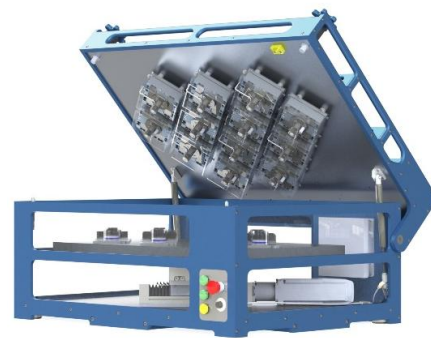


Fig. 1: The newly built 12-station pin-on-disc.

References

1. Malito et al, JMBBM, 83:9-19, 2018.
2. Dunn et al, Wear, 264:648-653, 2008.
3. ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM:1995).
4. Taylor et al, NIST Technical Note 1297, 1994.
5. Schmitz et al, J. Tribol., 126(4):802-808, 2004.



FEMORAL KNEE IMPLANT ROUGHENING AFTER THIRD BODY DAMAGE, AN EXPERIMENTAL STUDY

Jens Schwiesau (1, 2), Ana Laura Puente Reyna (1), Jason Steffens (3), Thomas M. Grupp (1, 2)

1. Aesculap AG, Research & Development, Tuttlingen, Germany; 2. Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, Musculoskeletal University Center Munich (MUM), Campus Grosshadern, LMU Munich, Munich, Germany; 3. Endolab GmbH, Rosenheim, Germany

Introduction: Third body wear of total knee replacement (TKR) can damage the plastic and metal components of the implant. The source of the third body particle in cemented TKR is mainly the bone cement [1]. This bone cement consists of PMMA with an opacifier, typically zirconia. Zirconia has a high hardness and can penetrate the surface of common implant materials, changing the surface conditions of femoral knee implants and altering the wear behaviour. Consequently, the higher wear of the implant materials and particle release in the surrounding tissue leads to a reduced service life of the implant. The aim of this wear simulator study is to identify how bone cement particles change the surface roughness of femoral components and what are the consequences for the wear behaviour of the TKR.

Methods: Medium size femoral components of the oneKNEE® designs (Aesculap AG, Tuttlingen, Germany) out of CoCrMo and a ZrN coated design were tested in conjunction with oneKNEE® MXE (0.1% vitamin E content in PE) gliding surfaces in the designs CS, MS and PS, sizes T4, high 10 mm. Wear simulation was performed according to ISO 14243-1. Before starting the test and filling in the test medium into the test chamber (20 g/l protein concentration new born calf serum), bone cement particles (BonOs® R, Osartis GmbH, with a size between 400 µm and 800 µm [1-3]) were spread on the testing chamber over the gliding surface with a concentration of 5 g/l. After every 0.5 million cycles (Mc), the gliding surfaces were measured for gravimetric wear and the roughness of the femoral condyles was measured on each condyle at three points according to ISO 7207-2. The test was run for at least 2.5 Mc.

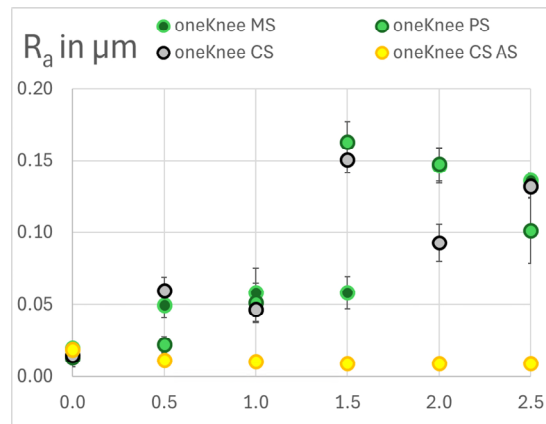


Fig. 1: Number of cycles vs. roughness Ra

Results: Figure 1 shows the numbers of cycles and the corresponding roughness Ra. Visible scratches following the direction of the articulation were seen since the first 0.5 Mc on the CoCrMo femura. The wear of the polyethylene gliding surface increased substantially in comparison to average pristine wear values.

Discussion: In retrieval studies, femoral condyle roughness is reported between 0.1 and 0.2 µm [4-6]. 1.5 to 2.0 million wear cycles need to be performed to reach a clinically relevant femoral condyle roughness. Increased wear was observed due to direct and indirect third body effects.

References

1. Cowie et al, Biomater Biosyst, 4:100028, 2021.
2. Niki et al, J Arthroplasty, 22:95–9, 2007.
3. Schröder et al, J Mater Sci Mater Med, 24:1319–25, 2013.
4. Cho et al, Proc Inst Mech Eng H, 224(4):515–29, 2010.
5. Jaber et al, Int J Artif Organs, 38:39–44, 2015.
6. Muratoglu et al, Clin Orthop Relat Res, (428):108–13, 2004.



TRIBOLOGISCHE UNTERSUCHUNG UNTERSCHIEDLICHER SCHMIERMEDIENMENGEN MITTELS PIN-ON-DISC VERSUCH

Daniel Thiele (1), Alia Schulz (1), Axel Hartmann (2), Carolin Witt (2), Martin Liebelt (2), Rainer Bader (1)

1. Universitätsmedizin Rostock, Forschungslabor für Biomechanik und Implantattechnologie, Rostock, Deutschland
2. Mathys Orthopädie GmbH, Mörsdorf, Deutschland

Einleitung: Eine Hauptursache für Revisionen von Gelenkendoprothesen ist die aseptische Lockerung der Implantate durch Abriebpartikel [1]. Zur Reduktion des Abriebs stellt die Oberflächenstrukturierung mittels Laser einen vielversprechenden Ansatz dar. Damit können sogenannte Dimples in die Oberfläche eingebracht werden, welche die Benetzbarkeit der Oberfläche verändern. Die Dimples dienen als Flüssigkeitsdepot und verbessern die Flüssigkeitsreibung [2]. Die Funktionalität derartiger Oberflächen kann mit dem sogenannten Pin-on-Disc-Versuch überprüft werden. Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss von Menge und Art der eingesetzten Schmiermedien auf die Ergebnisse im Pin-on-Disc-Versuch zu analysieren.

Methoden: Für die Pin-on-Disc-Versuche wurden laserstrukturierte Alumina-Toughened-Zirconia-Keramik-Discs mit integrierten Dimples ($\varnothing$ 200 μ m; $\varepsilon = 0,1$) an den artikulierenden Reibflächen verwendet. Als Schmiermedium dienten künstliche Synovia nach [3], bovines Serum mit 30 g/l Proteinanteil sowie bovines Serum mit 30 g/l Proteinanteil und 3 g/l Hyaluronsäure. Die Schmiermedienmenge variierte mit 2 ml, 3 ml und 4 ml. Es wurden je Variante fünf Messungen mit dem Rheometer 102e und der Tribologiezelle T-PID/44 (Anton Paar GmbH, Graz, Österreich) durchgeführt und Stribeck-Kurven erstellt. Die Messdaten wurden nach Medium und Menge interpoliert und gemittelt.

Ergebnisse: Die Stribeck-Kurven zeigen, dass mit steigender Geschwindigkeit der Reibungskoeffizient bei allen Schmiermedien abnimmt (Abb. 1). Die künstliche Synovia nach [3] weist bei niedrigen Geschwindigkeiten die höchsten Reibwerte auf, nähert sich jedoch mit zunehmender Geschwindigkeit den anderen Medien an. Bei Betrachtung der Schmiermediengruppen zeigt sich, dass die Verwendung von 2 ml bei jeder Gruppe die überwiegend geringste Reibung erzeugt.

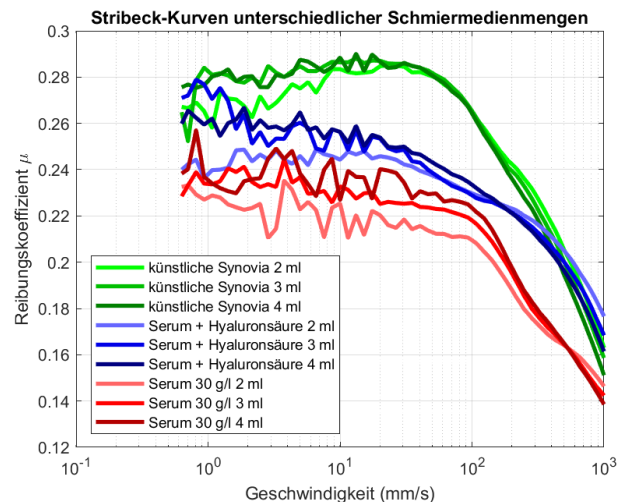


Abb. 1: Im Pin-on-Disc Versuch ermittelte Stribeck-Kurven unterschiedlicher Schmiermedien

Diskussion: Die Ergebnisse verdeutlichen den Einfluss der Schmiermedien und der jeweils eingesetzten Mengen auf den ermittelten Reibungskoeffizienten. Die bei Abnahme der Schmiermedienmenge beobachtete Reduktion des Reibungskoeffizienten ist möglicherweise auf den geringeren Flüssigkeitswiderstand bei geringeren Mengen zurückzuführen. Zudem tragen die auf der Oberfläche vorhandenen Dimples zur Stabilisierung des Schmierfilms bei, indem sie als Reservoirs für das Schmiermedium wirken und damit eine Verbesserung der Schmierung ermöglichen.

Hinweise: Wir danken dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt für die Projektförderung (FKZ:13XP5209D) sowie allen Projektpartnern für die Zusammenarbeit.

Referenzen:

1. Fink, Endoprothetik der Hüfte, Springer Berlin Heidelberg, 2024:553–563.
2. Choudhury et al, J. Biomed. Mater. Res. B, 103:1002–1012, 2015.
3. Hembus et al, Tribol. Int., 195:109605, 2024.



INFLUENCE OF THE RESTRAINT SYSTEMS ACCORDING TO ISO 14243-1:2009 ON THE WEAR BEHAVIOUR OF A CR/CS KNEE DESIGN

Tuleen Diab (1), Ana Laura Puente Reyna (1), Tobias Brugger (1), Jason Steffens (2), Thomas Grupp (1,3).

1. Research & Development, Aesculap AG, Tuttlingen, Germany; 2. EndoLab GmbH, Rosenheim, Germany;
3. Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, LMU Munich, Munich, Germany

Introduction: Wear testing is essential for maximizing implant longevity. ISO 14243-1 offers a standardized method for load-controlled wear testing that does not differentiate between a PCL retaining (CR) and a cruciate sacrificing (CS) implants except in the restraint system for anterior / posterior translation and internal / external tibial rotation. Barring the presence of preoperative contraindications, PCL resection is based on intraoperative observations or surgeon's preference [1]. Therefore, this study aims to evaluate the wear produced by applying different restraint systems (CR vs CS) under otherwise identical conditions (a single implant design, identical implant materials, etc.).

Methods: Two wear tests were performed using the oneKNEE® system (Aesculap AG, Tuttlingen, Germany) CR/CS gliding surface which can be utilized for a CR or CS indications. Medium sized F5 CR/CS/MS casted CoCrMo femoral components were used in combination with moderately crosslinked polyethylene with 0.1% vitamin-E content (MXE) CR/CS gliding surfaces and size T4 TiAlV tibial components. Wear was simulated using an ISO 14243-1 knee simulator (EndoLab GmbH, Germany) with four servo-hydraulically operated station (3 testing station and 1 loaded control station) for 5 million cycles (MC). The restraints (see Tab. 1) for CS assume the design substitutes for PCL function, whereas for CR they simulate PCL function. Restraints are applied outside the zero - force / -torque ranges of ± 2.5 mm and $\pm 6^\circ$. Wear gravimetric measurements were performed according to ISO 14243-2. The range of motion was calculated using simulator data for each group.

Tab. 1: Restraint systems for both configurations.

Config.	AP restraint	Rotation restraint
CR	44 (-AP) and 9.3 (+AP) N/mm	0.36 Nm/ $^\circ$
CS	9.3 N/mm	0.13 Nm/ $^\circ$

Results: The main feature of wear for both groups was polishing with similar wear areas after 5 MC as shown in Fig. 1. The mean wear rate a_G of the CR/CS gliding surface tested in a CR configuration was 4.73 ± 0.25 mg/MC with a coefficient of determination (R^2) of 0.97. When tested in a CS configuration, the gliding surface produced a mean wear rate of 4.71 ± 1.93 mg/MC with R^2 of 0.99. The mean range of AP translation was 5.14 mm ± 0.57 mm and 4.78 mm ± 0.13 mm, while the mean range of tibial IE rotation was $8.41^\circ \pm 0.59^\circ$ and $8.70^\circ \pm 0.38^\circ$, for CR and CS respectively.

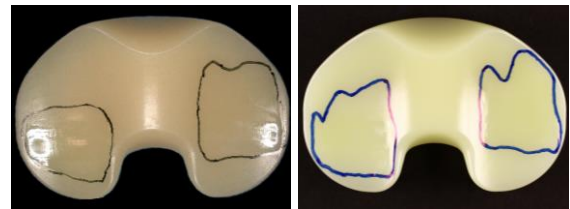


Fig. 1: Wear areas of CR (left) and CS (right) config.

Discussion: The intraoperative decision to switch between CR and CS constraints could be costly for surgeon and patient, so an implant design with sufficient stability for cruciate retaining and cruciate sacrificing interventions without compromising range of motion and wear behaviour is advantageous. This study investigated the influence of applied restraints simulating CR and CS constraints on a CR/CS design. The results showed no significant difference in wear rate, wear areas, or range of motion between CR and CS configurations. Furthermore, based on the wear rate a good clinical behaviour is expected [2].

References

1. Vertullo et al., J Bone Joint Surg., 99: 1129–1139, 2017.
2. Okazaki et al., J. Mech. Behav. Biomed. Mater., 90: 182-190, 2019.



POSTERIORE GASTROCNEMIUS-TRAKTION BEEINFLUSST FRAGMENTKINEMATIK BEI ANTERIOR-POSTERIORER SCHRAUBENOSTEOSYNTHESE EINER HOFFA-FRAKTUR

Marianne Hollensteiner (1), Marlene Stallinger (1,2), Christof Hofmann (3), Mischa Mühling (1), Markus Greinwald (1), Sabrina Sandriesser (1), Dirk Baumeister (1), Peter Augat (1).

1. Institut für Biomechanik, BG Unfallklinik Murnau gGmbH und Paracelsus Medizinische Universität Salzburg, Murnau, Deutschland; 2. FH Oberösterreich, Campus für Medizintechnik und Soziale Arbeit, Linz, Österreich; 3. Abteilung für Unfallchirurgie, BG Unfallklinik Murnau gGmbH, Murnau, Deutschland.

Einleitung: Hoffa-Frakturen (intraartikuläre, suprakondyläre Fraktur des distalen Femur) stellen aufgrund ihrer intraartikulären Lage und limitierter Fixationsfläche für die Osteosynthese-Versorgung eine biomechanische Herausforderung dar [1]. In bisherigen Studien zur biomechanischen Stabilität dieser Frakturen wurden muskuläre Einflüsse nicht berücksichtigt [1, 2], obwohl die posteriore Traktion des M. Gastrocnemius potenziell fragmentverschiebend wirkt [3]. Ziel dieser Studie war es, den Einfluss des M. Gastrocnemius auf die interfragmentäre Bewegung (IFB) bei Hoffa-Fraktur-Osteosynthesen unter axialer Belastung zu untersuchen.

Methoden: Patientenspezifische, mechanisch validierte Femur-Modelle (n=16) mit realistischer Typ-I-Hoffa-Fraktur wurden mit drei anterior-posterior gerichteten Zugschrauben fixiert und in einem zyklischen axialen Belastungssetup (2 Hz, schrittweise progressive Laststeigerung) getestet. Über integrierte PE-Schlaufen wurde eine zusätzliche konstante Gastrocnemius-Traktion (300 N) in acht der Modelle simuliert. Die IFB wurde mit 3D-Bewegungserfassung analysiert, wobei die axiale Verschiebung des Fragments, Spaltöffnung und Fragmentdrehung unter Last bis zum Versagen ausgewertet wurden.

Ergebnisse: Die maximale Versagenslast unterschied sich nicht signifikant zwischen den Gruppen (mit Traktion: 2314 ± 273 N vs. ohne Traktion: 2298 ± 150 N; $p = 0,599$). Bei höheren Lasten nahm die axiale Verschiebung mit Muskelzug signifikant zu, blieb jedoch unter 1,5 mm. Der Muskelzug kehrte die Richtung der medio-lateralen Spaltöffnung um ($p < 0,001$) und erhöhte die anterior-posteriore Fragmentrotation auf bis zu $3,0^\circ$ ($p \leq 0,005$, Fig 1).

Diskussion: Obwohl nur geringe und rein statische Gastrocnemius-Traktion aufgebracht wurde, zeigt die Studie, dass diese die fragmentäre Kinematik bei Hoffa-Frakturen unter axialer Belastung signifikant beeinflusst, ohne die Versagenslast zu verändern. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung muskuloskelettaler Kräfte in biomechanischen Frakturmodellen und liefern wertvolle Hinweise zur Optimierung von Implantatstrategien bei intraartikulären distalen Femurfrakturen.

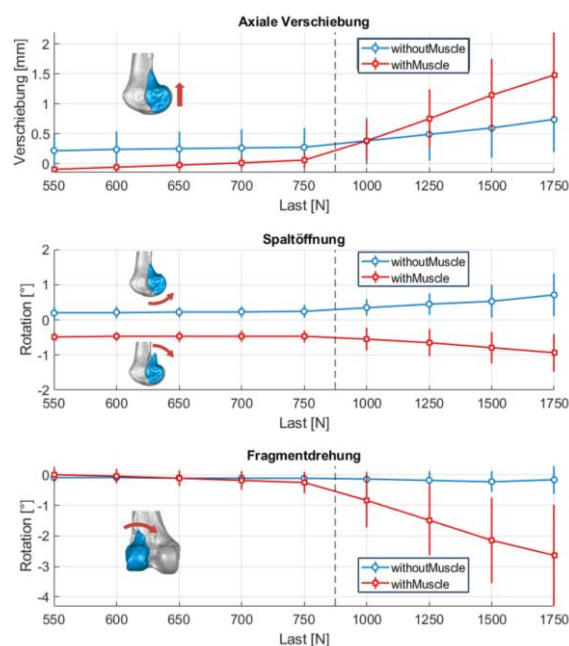


Fig 1: IFB des Hoffa-Fragments mit (rot) und ohne (blau) simulierter Gastrocnemius-Traktion.

Referenzen

1. Rabelo et al., Medicine, 102:e36161, 2023.
2. Augat et al., OTA Int., 4:e099, 2021.
3. Neumann-Langen et al., J Pers Med, 13:350, 2023.



UNTERSCHIEDE IN DER BELASTUNG VON FEMUR UND TIBIA BEIM GEHEN UND POTENZIELLE AUSWIRKUNGEN AUF DIE FRAKTURHEILUNG

Mark Heyland (1), Dominik Deppe (1,2), Marie-Jacqueline Reisener (1,3), Philipp Damm (1), William R. Taylor (4), Simon Reinke (1), Georg N. Duda (1), Adam Treczynski (1)

1. Julius Wolff Institut, Berlin Institute of Health at Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany; 2. Klinik für Radiologie, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Germany; 3. Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie (CMSC), Charité - Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Germany; 4. Laboratory for Movement Biomechanics, ETH Zürich, Zürich, Switzerland

Einleitung: Die mechanische Belastung beeinflusst den Verlauf der Frakturheilung [1]. Ausgehend von der Hypothese, dass in Abhängigkeit von der Lokalisation deutliche Unterschiede bei der Knochenbelastung vorliegen, untersuchten wir wie die Belastung entlang der unteren Extremität variiert.

Methoden: Durch auf *in vivo* erhobenen Gelenklasten basierende muskuloskelettale Modellierung konnten wir die inneren Belastungen in Femur und Tibia beim Gehen bei 6 Probanden (CAMS-Knie-Datensatz) [2] untersuchen. Diese inneren Kräfte wurden mit dem Heilungsverlauf bei 178 extraartikulären Femur- und Tibia-Frakturen mittels des modifizierten radiologischen Tibia-Verheilungsskala (mRUST) [3] korreliert.

Ergebnisse: Die mittleren Spitzenbelastungen im Femur entsprachen bei Kompression (1,3–1,9 kN in Schaftmitte), in etwa der Hälfte der tibialen Kompression (2,3–5,2 kN). Die Biegemomente in der Frontalebene waren im Femur (71 bis 130 Nm) höher als in der Tibia (26 bis 43 Nm), wobei sie jeweils proximal zunahmen, während die Biegung in der Sagittalebene im Femur geringer war (-38 bis 43 Nm), als in der Tibia (-63 bis -175 Nm), wo sie mit der Knieflexion in der späten Standphase korrelierte ($R^2 = 0,85$). Femur-Frakturen zeigten bei der letzten Nachuntersuchung signifikant niedrigere mRUST-Werte ($p < 0,001$) als Tibia-Frakturen. Insbesondere Kompression ($r = 0,304$), sagittale Biegung ($r = 0,259$) und frontale Biegung ($r = -0,318$) korrelierten stark ($p < 0,001$) mit dem mRUST-Wert, im Gegensatz zu Alter, Körpergewicht oder der Frakturlokalisierung allein.

Diskussion: Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass Femur und Tibia unterschiedlich belastet werden und daher eine angepasste Frakturfixierung erfordern, die die Belastungskomponenten und nicht nur die

Gesamtbelastung berücksichtigt. Die Belastungsmuster der langen Knochen der unteren Extremität beim Gehen, können in weiteren Studien genutzt werden, um mechanisch optimierte Fixierungskonfigurationen zu identifizieren und so die Frakturbehandlung zukünftig zu optimieren.

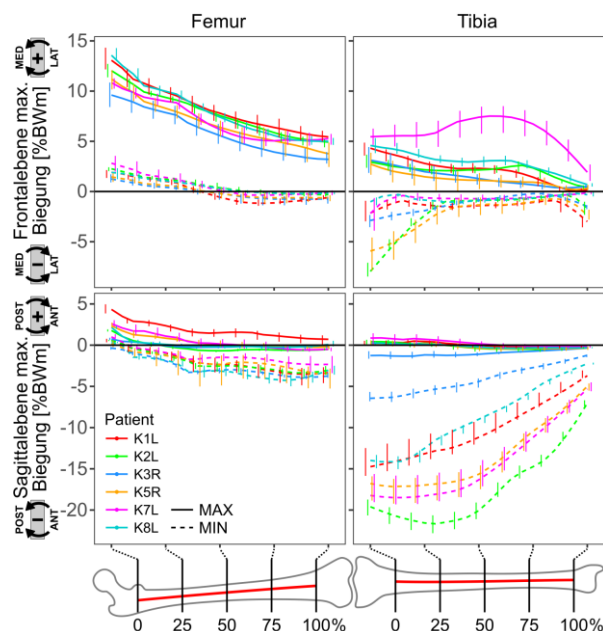


Fig. 1: Biegebelastung in der Standphase des Gehens entlang des Schafts von Femur und Tibia in Körpergewichtsmetern (BWm).

Hinweise: Die Studie wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (SFB1444 Projekt-ID 427826188, TR 1657/1-1, DA 1786/5-1) und den OrthoLoad Club.

Referenzen

1. Epari et al, JBJS 89 (7), 1575–1585, 2007.
2. Taylor et al, J. Biomech. 65, 32–39, 2018.
3. Alentado et al, Front. Endocrinol. 13, 911058, 2022.



BIOMECHANISCHER VERGLEICH UNTERSCHIEDLICHER OSTEOSYNTHESEVERFAHREN ZUR STABILISIERUNG VON SYMPHYSEN RUPTUREN

Dirk Baumeister (1, 2), Markus Greinwald (1, 2), Marianne Hollensteiner (1, 2), Stefan Nuber (3), Christian von Rüden (4), Edgar Mayr (3), Peter Augat (1, 2)

1. Institut für Biomechanik, BG Unfallkrankenhaus Murnau, Deutschland; 2. Institut für Biomechanik, Paracelsus Medizinische Privatuniversität, Salzburg, Österreich; 3. Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie, Plastische und Handchirurgie, Universitätsklinikum Augsburg, Deutschland; 4. Universität Regensburg, Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Handchirurgie, Klinikum Weiden, Deutschland

Einleitung: Die Plattenosteosynthese gilt als Goldstandard zur Versorgung von Symphyse rupturen, schränkt jedoch die physiologische Bewegung der Symphyse stark ein und kann dadurch zu Implantatversagen führen [1]. Ziel dieser biomechanischen Studie war der Vergleich der Stabilität dreier unterschiedlicher Fixationsverfahren unter physiologischer Belastung bezüglich der Relativbewegung an der Symphyse.

Methoden: Die Symphyse wurde bei jeweils fünf Kunststoff-Beckenknochen mit einer der folgenden Methoden stabilisiert (Abb. 1):

1. Konventionell verschraubte Symphyseplatte
2. Winkelstabil verschraubte Symphyseplatte
3. Fixateur interne [2]

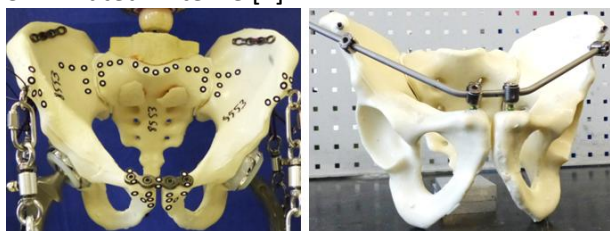


Abb. 1: Kunststoffbecken mit Versorgungen der Symphyse. Links: Symphyseplatte. Rechts: Fixateur interne

In einem neu entwickelten biomechanischen Versuchsaufbau, der die dynamische Wechsellast beim Gehen unter Berücksichtigung signifikanter Muskelkräfte simuliert, wurden die Beckenproben einem ansteigenden, zyklischen Lastprotokoll unterzogen. Die Relativbewegungen der Schambeine zueinander im Bereich der Symphyse wurden bei einer Gesamtlast von 1750 N erfasst und zwischen den Gruppen verglichen.

Ergebnisse: Unter Belastung zeigte sich in allen Gruppen eine überwiegende Schließbewegung der

Symphyse gegenüber einer Scherbewegung der Schambeine. Die Proben mit Fixateur interne wiesen eine signifikant größere Schließbewegung auf als jene mit konventionell verschraubter Symphyseplatte (Abb. 2).

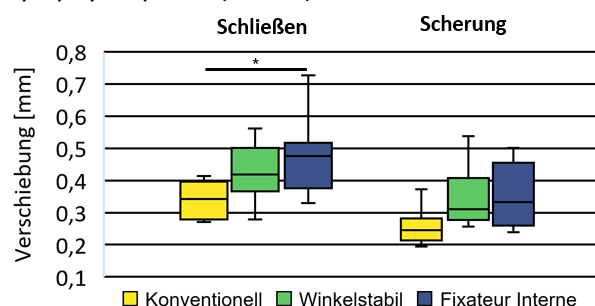


Abb. 2: Relativbewegung an der Symphyse bei einer resultierenden Kraft von 1750 N

Diskussion: Der entwickelte Prüfstand ermöglichte trotz unvermeidlicher Vereinfachungen eine realistische Simulation der dynamisch alternierenden Belastung des Beckens beim Gehen. Geringe Relativbewegungen in allen Gruppen belegen die hohe strukturelle Stabilität und Steifigkeit aller Osteosyntheseverfahren. Der Fixateur interne führte zu mehr Bewegungsfreiheit im Symphysebereich und damit zu einer flexibleren Fixierung. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um die biomechanische und klinische Relevanz dieser Befunde zu validieren.

Hinweise: Die Versuche wurden im Rahmen eines DGUV-Projektes (FR-0308) durchgeführt.

Referenzen

1. Moed et al., J Orthop Trauma, 26(7), e71-75, 2012
2. Nuber et al., Unfallchirurg, 122(11), 870-879, 2019



Ein neuer Ansatz in der Frakturversorgung: Klebriger Knochenzement als Schlüssel zur präzisen Reposition mehrfragmentärer Frakturen – eine biomechanische Studie.

Lea Hüls¹, Martin Jordan^{1,2}, Uwe Gbureck³, Rainer Meffert¹, Stefanie Hölscher-Doht¹

¹Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-, Plastische und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Würzburg, Würzburg, Deutschland, ²Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Rehabilitative Medizin, Universitätsmedizin Greifswald, Greifswald, Deutschland, ³Institut für Funktionswerkstoffe der Medizin und Zahnheilkunde, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg, Deutschland

EbM - Evidenzlevel: A: Gesicherte Empfehlung, stark überzeugende Evidenz (z.B. um das persönliche Verhalten anzupassen oder um in Gutachten als Referenz zu dienen)

Zielsetzung und Fragestellung

Die Reposition von komplexen Frakturen insbesondere in gelenknahen Regionen ist oft schwierig durch Drähte oder Repositionsinstrumentarien temporär zu halten. Knochenkleber könnten eine anatomische Reposition erzielen, ohne das Zusammenfügen kleinster Frakturfragmente während der Rekonstruktion zu stören und somit die anschließende Versorgung mittels Plattenosteosynthese erleichtern. Diese biomechanische in-vitro Studie untersucht erstmalig einen vielversprechenden mineralischen Knochenkleber, der neben der Klebeeigenschaften als Zement Knochendefekte auffüllen kann. Durch die Bohrbarkeit des klebrigen Zementes kann nach Reposition komplexer Frakturen problemlos eine definitive Stabilisierung durch eine Osteosynthese erfolgen.

Material und Methoden

An 27 porcinen Tibiae wurde eine laterale Spalt-Impressionsfraktur (Abb. 1 links) generiert. In Gruppe A wurde die Fraktur in einer neuen Operationstechnik mit MgP-Zement ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{MgO} + 22,5\% \text{ wt. \% Phytinsäure}$) reponiert (Abb. 1 Mitte) und anschließend mit einer Platte stabilisiert. In den beiden anderen Gruppen wurde zunächst, dem derzeitigen OP-Standard, eine Plattenosteosynthese durchgeführt. Dann erfolgte die Injektion eines Knochenersatzmaterials durch einen Spalt im Frakturbereich der Tibia: bei Gruppe B mit MgP-Zement, bei Gruppe C mit Hydroxylapatit-Zement ($\alpha\text{-TCP} + \text{Na}_2\text{HPO}_4$). In biomechanischen Belastungstests (Abb. 1 rechts) wurden das Einsinken (Displacement) des Tibiaplateaus, Steifigkeit, Maximalkraft und normalisierte Maximalkraft ermittelt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse (Tabelle 1) zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen für das Displacement, wobei Gruppe A die niedrigsten Werte aufwies. Die Maximalkraft war in der Gruppe C signifikant höher als in A ($p < 0,01$) und B ($p = 0,04$), zwischen den Werten der normalisierten Maximalkraft zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen.

Diskussion und Schlussfolgerung

Bei verbesserter anatomischer Reposition und vollständigerer Auffüllung des Knochendefektes wies die neue Operationstechnik mit klebrigem Magnesiumphosphatzement eine gleichwertige biomechanische Stabilität im Vergleich zur bisherigen OP-Technik auf.

Tabelle 1

Gruppe	Displacement testexpert	Displacement optisch. System	Maximalkraft	Normalisierte Maximalkraft	Steifigkeit
A	$2,98 \pm 0,89 \text{ mm}$	$2,31 \pm 1,04 \text{ mm}$	$6046,05 \pm 451,22 \text{ N}$	$496,54 \pm 83,53 \%$	$1185,93 \pm 291,07 \text{ N/mm}$
B	$4,25 \pm 1,66 \text{ mm}$	$2,95 \pm 0,82 \text{ mm}$	$6323,51 \pm 518,62 \text{ N}$	$508,89 \pm 154,99 \%$	$1148,28 \pm 214,12 \text{ N/mm}$
C	$4,66 \pm 1,82 \text{ mm}$	$3,25 \pm 1,05 \text{ mm}$	$7000,61 \pm 629,19 \text{ N}$	$537,84 \pm 90,91\%$	$1130,84 \pm 202,63 \text{ N/mm}$

Tabelle 1: Zu sehen sind alle Ergebnisse der biomechanischen Testung, welche durch testexpert und das optische System erfasst wurden.

Abbildung 1

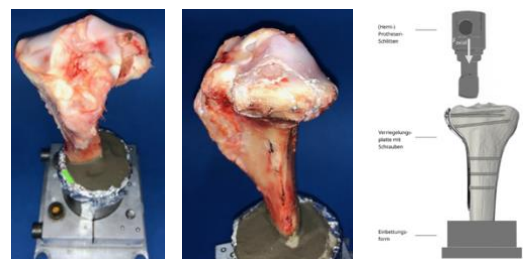


Abbildung 1: Laterale Tibiakopfspaltimpressionsfrakturen wurden an porcinen Tibiae simuliert (links). Durch einen neuartigen, klebrigen Knochenzement gelang eine anatomische Reposition (Mitte). Biomechanisch wurde die neue Methode mit der etablierten Technik evaluiert (rechts).

KI-GESTÜTZTE PRÄOPERATIVE OSTEOSYNTHESEPLANUNG KOMPLEXER FRAKTUREN

Julian N. Zierke (1), Mark Heyland (1), Tom Meyer (2), Alaa Bejaoui (3), Heiko Tzschätzsch (3), Niklas Tuttle (4), Sebastian Hölzl (4), Annika Steinmeier (4), Hongyou Zhou (5), Philipp Damm (1), Timo A. Auer (2), Georg N. Duda (1) and David A. Back (4)

1: Julius Wolff Institute, Berlin Institute of Health, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany; 2: Department of Radiology, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany; 3: Institute of Medical Informatics, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany; 4: Center for Musculoskeletal Surgery, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany; 5: Technische Universität Berlin, Learning and Intelligent Systems, Berlin, Germany

Einleitung: Komplexe Frakturen, etwa der proximalen Tibia, stellen in der unfallchirurgischen Versorgung häufig eine Herausforderung dar. Der operative Erfolg hängt unter anderem stark von der Erfahrung des Chirurgen ab [1], evidenzbasierte Daten fehlen jedoch. Eine prä- und intraoperative Unterstützung bei der Operationsplanung kann helfen, komplexe Fälle von Reposition und Frakturstabilisierung effektiver zu versorgen. Zu diesem Zweck wurde ein KI-basierter Algorithmus entwickelt, welcher evidenzbasierte Empfehlungen für die anatomische Reposition und Frakturfixation ermöglicht.

Methoden: Ausgehend von präoperativen CT-Daten wird eine Osteosyntheseempfehlung durch den Planungsalgorithmus erzeugt. Der Workflow umfasst mehrere Teilalgorithmen, wie die CT-Fraktursegmentierung mittels Neuroner Netze und die virtuelle Frakturreduktion unter Verwendung von Spatial Transformer Networks, Autoencoder-Architekturen sowie Blackbox-Optimierung für die Registrierung und Vorhersage der korrekten Fragmentreposition. Eine anschließende Frakturklassifikation und Landmarkendetektion ermöglichen dann Empfehlungen zur Auswahl und Platzierung der Osteosynthese mithilfe eines Entscheidungsalgorithmus, der auf chirurgischen Evidenzen aus Scoping Reviews, retrospektiv analysierten Frakturfällen und biomechanischen Bewertungen (Finite-Elemente-Analyse) basiert. Das Hauptziel besteht darin, den Planungsalgorithmus auf einer internen Serverstruktur zu implementieren und über eine webbasierte Anwendung zugänglich zu machen, unterstützt durch den High-Performance-Computing-Cluster (HPC) der Charité.

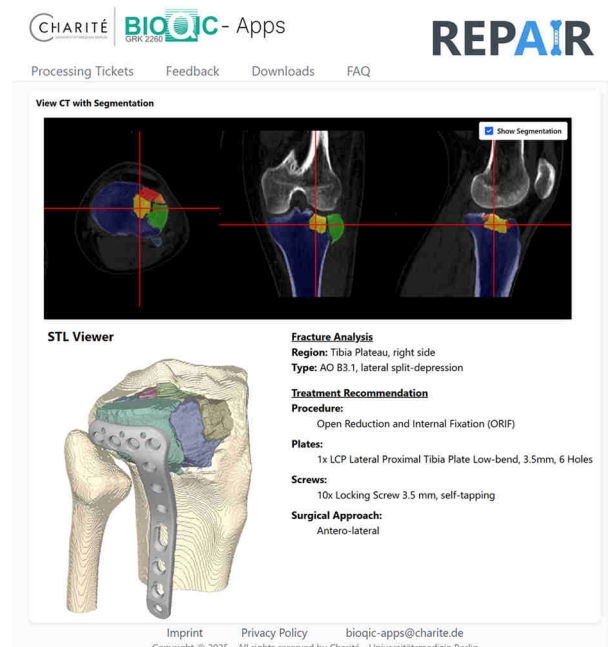


Abb. 1: Prototyp der Webanwendung zur Darstellung der Ergebnisse einer Osteosyntheseplanung.

Ergebnisse und Diskussion: Der Prototyp der webbasierten Anwendung führt nach Hochladen der Fraktur-CT Bilder den Planungsalgorithmus auf einem HPC Cluster aus und empfiehlt Frakturreposition sowie Implantattyp und -platzierung. Die Ergebnisse werden in Panels angezeigt (Abb. 1), inklusive CT-Viewer (axial, koronal, sagittal) mit Segmentierung, textbasierter Analyse und 3D-Viewer für Knochen und Implantate. Die Anwendung wird prospektiv von Chirurgen im klinischen Alltag evaluiert.

Danksagung: REPAIR Projekt (repair.charite.de, G-BA, No. 01VSF22039), German Research Foundation (SFB1340 Matrix in Vision, GRK2260 BIOQIC, FOR5628), OrthoLoad Club.

References

1. Maruthappu et al, Annals of Surgery 26:642-647, 2015



RICHTIG ZITIEREN – DAMIT DIE WISSENSCHAFT NICHT INS STOLPERN GERÄT

Stefan Schroeder (1), Max J. Stegmann (1), Maximilian Uhler (1), Maurice Weiss (1), T. Bormann (1)

1. Sektion für Biomechanik und Implantatforschung, Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg,
Heidelberg, Deutschland

Einleitung: Wie es in der naturwissenschaftlichen Forschung üblich ist, bauen auch biomechanische Studien häufig auf bereits vorhandenen und publizierten Untersuchungen auf. Dies reduziert den Arbeitsaufwand der einzelnen Forschungsinstitute und beschleunigt den globalen wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn. Es ist höchst relevant, dass die publizierten Ergebnisse valide sind und die Forschungsgruppen den bereits bestehenden Ergebnissen trauen können. Desweiteren ist es auch notwendig, dass die bereits publizierten Studien inhaltlich korrekt zitiert werden, um den bereits vorhandenen Erkenntnisgewinn nicht zu verfälschen. Um die prozentuale Anzahl an möglichen Falschinformationen einschätzen zu können, wurden Zitationsfehler anhand verschiedener bereits publizierter biomechanischer Studien untersucht.

Methode: Insgesamt wurden 9 publizierte wissenschaftliche Studien (je 3 Publikationen in 3 verschiedenen Journals) von zwei Observern (O1 und O2) hinsichtlich der prozentualen Anzahl an Zitationsfehlern untersucht. Bei den Journals handelte es sich um Applied Sciences (MDPI, IF:2,5), JMBBM (Elsevier, IF:3,5) und Acta Biomaterialia (Elsevier, IF:9,6). Als Auswahlkriterium wurden Publikationen ausgewählt, die nach dem Jahr 2020 veröffentlicht wurden und maximal 20 verschiedene Quellen aufwiesen. Die Zitationsfehler wurden in drei Kategorien unterteilt („Aussage in Ursprungspublikation nicht vorhanden = 1“, „nicht die Originalpublikation zitiert = 2“ und „falsche/irreführende Aussage = 3“).

Ergebnisse: Insgesamt konnten 86 Zitationen bei den drei Papern des Journals Applied Sciences ausgewertet werden, wobei beide Observer 80% als korrekt befundet haben. Beim Journal JMBBM

wurden insgesamt 79 Zitationen aus den drei Papern ausgewertet. Observer 1 hat 75% und Observer 2 71% der Zitationen als korrekt befunden. Beim Journal Acta Biomaterialia wurden insgesamt 121 Zitationen aus den drei Papern ausgewertet. Observer 1 hat 86% und Observer 2 89% der Zitationen als korrekt befunden. Die Auftretenshäufigkeit der drei Fehlerarten in Bezug auf die Gesamtfehleranzahl ist nachfolgend in Tab. 1 veranschaulicht.

Tab. 1: Auftretenshäufigkeit der drei Fehlerarten

Fehler	Applied Sciences		JMBBM		Acta Biomaterialia	
	O1	O2	O1	O2	O1	O2
1 in %	78	71	75	61	72	25
2 in %	5	17	15	35	22	50
3 in %	17	12	10	4	6	25
Fehlerhafte Zitate in %	20	20	25	29	14	11

Diskussion: Die Ergebnisse zeigen, dass unabhängig vom Journal eine nicht zu vernachlässigende Anzahl an Zitationsfehler auftreten und nicht während der Begutachtung durch die Reviewer oder die Editoren des Journals erkannt werden. Besonders häufig werden Aussagen für Zitationen verwendet, die allerdings nicht in der zitierten Publikation auffindbar sind. Dies kann dazu führen, dass Aussagen als wahr angenommen werden, obwohl diese nicht belegt werden können. Hier könnten KI-Systeme ansetzen, um zukünftig fehlerhafte Zitationen zu vermeiden.



FATIGUE-WEIGHTED CUMULATIVE KNEE JOINT LOADING: A FRAMEWORK FOR COMPARING LOCOMOTOR TASKS IN INDIVIDUALS WITH KNEE OSTEOARTHRITIS

Jonas Ebbecke (1), Lasse Hansen (1), Josef Viellehner (1), William Brent Edwards (2), Nina Naeckel (1), Wolfgang Potthast (1, 3).

1. Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Cologne, Germany
2. Human Performance Laboratory, Faculty of Kinesiology, University of Calgary, Calgary, Canada
3. The German Research Centre of Elite Sport, German Sport University Cologne, Cologne, Germany

Introduction: Medial knee osteoarthritis (KOA) is characterised by altered joint loading that accelerates disease progression [1]. While cycling is often recommended as a joint-sparing exercise, its mechanical loading profile remains poorly understood compared to locomotion. This study demonstrates a fatigue-weighted cumulative loading (wCKL) framework to enable such comparisons. Focusing on the external knee adduction moment (KAM), we quantified and contrasted wCKL across cycling, walking and running in individuals with and without KOA.

Methods: Fifty-six recreational or competitive cyclists (19 KOA, 19 age-matched controls CO, 18 young controls CY) performed cycling at nine cadence–power combinations, level walking (1.4 m/s), and running (3.0 m/s). 3D kinematics and kinetics were recorded [2]. Frontal-plane wCKL was calculated using a mechanical fatigue-weighted model [3] (Eq. 1) and normalised to one hour of locomotion. Mixed-effects linear models (MLMs) assessed task and group effects with post hoc tests. Dose-equivalence modelling was performed to estimate the cycling duration required to match wCKL of walking and running.

$$wCKL = n \left[\int_{t_i}^{t_f} M(t)^b dt \right]^{1/b} \quad (1)$$

with $b = 12.9$

Results: MLM analysis revealed significant differences in wCKL across tasks ($p < 0.001$). Compared to cycling, walking ($\Delta = +63.1 \text{ Nm}\cdot\text{s/h}$) and running ($\Delta = +294.3 \text{ Nm}\cdot\text{s/h}$) produced greater wCKL. Task $\times$ group interactions showed KOA participants had larger increases from cycling to walking/running than controls. Post-hoc tests confirmed significant rises in KOA from cycling to

walking ($p = 0.001$) and walking to running ($p < 0.001$), while healthy controls showed no differences. KOA had higher wCKL than controls during walking and running but not cycling. Dose-equivalence modelling showed that KOA participants would need ~ 1.5 – 2 hours of cycling to match wCKL of one hour of walking, and > 3 hours to equal one hour of running.

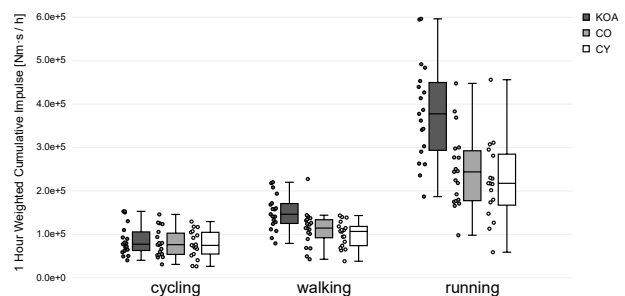


Fig. 1: Boxplots of wCKL for each group and each locomotion task.

Discussion: Our findings extend the classical “KAM peak” literature by incorporating the temporal accumulation of load using a fatigue-weighted framework, underscoring that cycling minimises frontal-plane mechanical load in KOA individuals and healthy controls. Dose-equivalences indicate that cycling can maintain aerobic fitness while reducing cumulative medial knee loading.

Notes: This project was funded by the Internal Research Funds of the German Sport University Cologne, grant number L-11-10011-283-093000.

References

1. Andriacchi et al, Ann. Biomed. Eng., 2:447–57, 2002.
2. Ebbecke et al, Meas., 256:118081, 2025.
3. Edwards, ESSR, 6:224–31, 2018.



BERÜCKSICHTIGUNG PHYSIOLOGISCHER MUSKELKRÄFTE BEI DER BIOMECHANISCHEN UNTERSUCHUNG VON MENISKUSRISSEN

Jonas W Metzger (1), Matthias Sukopp (1), Jonathan Wohlt (1), Jonas Schwer (1), Luisa de Roy (1), Anita Igantius (1), Thomas Kappe (2), Andreas M Seitz (1).

1. Institut für Unfallchirurgische Forschung und Biomechanik, Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland; 2. Klinik für Orthopädie, Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland

Einleitung: Meniskusrisse verändern die tibiofemorale Kontaktmechanik und gelten als Risikofaktor für die Entwicklung einer posttraumatischen Kniegelenksarthrose [1]. Aufgrund des Paradigmenwechsels hin zu meniskuserhaltenden Behandlungsstrategien hat sich die arthroskopische Nahtrekonstruktion zur bevorzugten Therapie entwickelt [2]. Um das mechanische Verhalten rekonstruierter Menisken unter physiologischen Bedingungen besser zu verstehen, ist die Simulation alltags- und rehabilitationsrelevanter Bewegungen von großer Bedeutung. Daher war es das Ziel dieser ex-vivo-Studie mithilfe des dynamischen Ulmer Knie-Simulators physiologische Bewegungsabläufe zu simulieren, um so die tibiofemorale Kontaktmechanik sowie das Aufklaff-Verhalten („Gapping“) verschiedener Meniskusrissformen zu untersuchen.

Methoden: Es wurden 31 intakte humane Kniepräparate in drei Gruppen mit Meniskusrissen eingeteilt: Radiärriss (RR, n = 13), Longitudinalriss (LR, n = 8) und Korbhenkelriss (KHR, n = 10) und unter sechs randomisierten Bewegungsabläufen belastet: Gehen, Gehen mit 10° Außenrotation im Sprunggelenk, Hinsetzen, Aufstehen und der Vier-Punkt-Gang mit 30% bzw. 50% des Körpergewichts. Die Tests erfolgten im intakten, gerissenen und genähten Zustand. Die Simulation der zuvor ermittelten Muskelkraftprofile erfolgte mittels sieben Linearmotoren. Die Hüftbewegung wurde über eine Traverse realisiert, während die Sprunggelenksbewegung über einen Servomotor umgesetzt wurde (Fig. 1) [3]. Im Rahmen der Untersuchung wurde die Kniekinematik, der tibiofemorale Kontaktdruck und -fläche, sowie das Gapping-Verhalten der Risse analysiert.

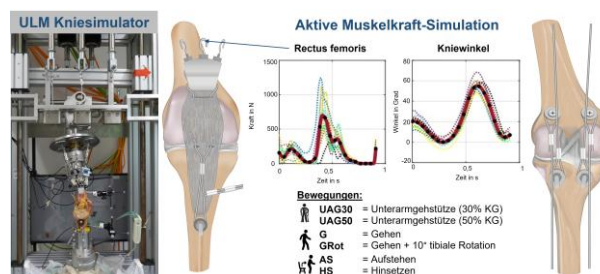


Fig. 1: Schematische Abbildung des dynamischen Knie-Simulators

Ergebnisse: Weder das Rissmuster noch der Meniskuszustand beeinflussten die Kniekinematik. Krücken-gestützte Bewegungen führten jedoch zu einer 49% geringeren tibialen Außenrotation. Die Kontaktmechanik blieb bei LR und KHR unverändert, während der RR den Kontaktdruck um 30% und die -fläche um 26% erhöhte. Nach erfolgter Meniskusnaht lagen die Werte nahezu im Bereich des intakten Knie. Das größte Gapping trat in der RR-Gruppe auf (1,93 mm).

Diskussion: Die Simulation physiologischer Muskelkräfte ermöglichte eine realitätsnahe Analyse der Kinematik und Kontaktmechanismen im Knie. Aus den Daten lässt sich schließen, dass LR und KHR eine frühfunktionelle Rehabilitation zulassen könnten, während bei RR ein eher konservatives Vorgehen erforderlich sein könnte, um Nahtstabilität zu gewährleisten. Die Erkenntnisse schaffen eine biomechanische Basis für risspezifische Rehabilitationsprotokolle in der frühen postoperativen Phase.

Notizen: Diese Studie wurde von der DFG (SE3135/1-1) finanziert.

Referenzen

1. Sukopp et al., Front. Bioeng. Biotechnol., 2021, 3:765596
2. Seil et al., KSSTA, 2016, 24:1421–1423
3. Sukopp et al., J. Orthop. Res., 2024, 42:1134-1144



PARASPINALE MUSKELDEGENERATION UND SPINALE BEWEGLICHKEIT - ERKENNTNISSE AUS DER BERLINER RÜCKENSTUDIE

Lea Cordes (1), Lukas Schönnagel (2), Lea Hühren (2), Ali Firouzabadi (1), Lukas Mödl (3), Ulrike Grittner (3), Luis Becker (2), Bernhard Hoehl (2), Matthias Pumberger (1,2), Hendrik Schmidt (1)

1. Julius Wolff Institut, Berlin Institute of Health in der Charité – Universitätsmedizin, Berlin, Deutschland; 2. Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Charité – Universitätsmedizin, Berlin, Deutschland; 3. Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie, Charité – Universitätsmedizin, Berlin, Deutschland

Einleitung: Chronische Rückenschmerzen in der Lendenwirbelsäule (cLBP) sind multifaktoriell bedingt. Strukturelle und funktionelle Veränderungen der paraspinalen Muskulatur werden zunehmend als relevante Einflussfaktoren diskutiert, da sie wesentlich zur Stabilität und Funktion der Wirbelsäule beitragen [1]. Während zahlreiche Studien den Zusammenhang zwischen Muskelmorphologie und Schmerz untersuchten [2], ist es die Absicht dieser Studie die Assoziation mit spinaler Beweglichkeit zu analysieren.

Methoden: Diese Subanalyse der „Berliner Rückenstudie“ schloss PatientInnen mit und ohne cLBP prospektiv ein. Die paraspinalen Muskeln (Multifidus (MF), Erector spinae (ES), Psoas major (PM)) wurden auf axialen T2-MRTs von L1–S1 segmentiert. Muskelatrophie wurde anhand des Fettinfiltrationsanteils (FI%) und der höhenadjustierten Querschnittsfläche (fCSA) gemessen. Die sagittale und koronale Beweglichkeit wurde mittels eines Hautsensors erfasst. Multivariable lineare Regressionsanalysen untersuchten den Zusammenhang zwischen Muskelparametern und Mobilität.

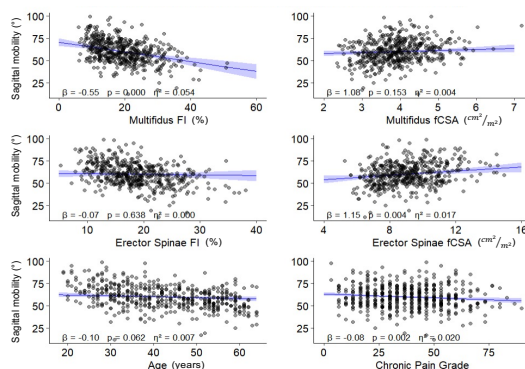


Abb. 1: Assoziation zwischen Muskelmorphologie und sagittaler Mobilität der Lendenwirbelsäule

Ergebnisse: Insgesamt wurden 721 ProbandInnen eingeschlossen (226 ohne LBP, 495 mit cLBP). In der Analyse bei cLBP zeigte die FI des MF den stärksten Zusammenhang mit der sagittalen lumbalen Beweglichkeit (SLB) ($\eta^2 = 0.054$, $p < 0.001$) (Abb.1). MF fCSA war nicht signifikant assoziiert. Beim ES zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang der SLB zur fCSA ($\eta^2 = 0.017$, $p = 0.004$), nicht jedoch zur FI. In der schmerzfreien Gruppe, für den PM und die koronale Mobilität fanden sich keine relevanten Assoziationen.

Diskussion: Diese Studie zeigte, dass Muskeldegeneration mit reduzierter sagittaler Wirbelsäulenmobilität assoziiert ist, insbesondere bei cLBP. Bei erhöhter FI des MF und Reduktion der fCSA des ES kommt es zur Vermeidung großer Bewegungsamplituden, möglicherweise durch den Verlust von segmentaler Stabilität [3] und Bewegungskontrolle aufgrund der Abnahme der Muskelkraft [4]. Änderungen in der fCSA und Steifigkeit verändern darüber hinaus die Lastenverteilung auf Disci und Facettengelenke, was dazu führt, dass bei degenerierter Muskulatur passive Strukturen mehr Last übernehmen müssen [5]. Die Ergebnisse bilden eine Grundlage für weiterführende mechanistische Analysen und potenzielle therapeutische Ansätze.

Hinweise: Diese Studie wurde finanziell von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert (FOR5177 – SCHM 2572/11-1, SCHM 2572/13-1).

Referenzen

1. Abd-Elseyed et al., Pain Pract, 2025.
2. Liu et al., Eur Radiol, 2024.
3. Freeman et al., PM R, 2010.
4. Lee et al., Ann Rehabil Med, 2012.
5. Malakoutian et al., Eur Spine J, 2022.



IN VIVO ANALYSE DES EINFLUSSES EINER LUMBALEN WIRBELSÄULENFUSION AUF DIE SEGMENTALE WIRBELSÄULENKINEMATIK IM TIERMODELL SCHAF

Marcel Simon Reich, Maxim Bashkuev, Nicole Bormann, Hendrik Schmidt, Sandra Reitmaier

Julius Wolff Institut, Berlin Institute of Health at Charité – Universitätsmedizin Berlin, Deutschland

Einleitung: Eine Wirbelsäulenfusion verändert die Lastübertragung entlang der Wirbelsäule und kann zu einer Degeneration benachbarter Segmente führen, die häufig mit Schmerzen einhergeht und bis zu 20% weitere Eingriffe erforderlich macht [1]. Es ist bekannt, dass mechanische Reize sowohl Heilungs- als auch Degenerationsprozesse beeinflussen; jedoch ist ihr kombinierter Einfluss auf die Wirbelsäule nach einer Fusion bislang nicht umfassend charakterisiert [2]. Vor diesem Hintergrund wurden in der vorliegenden Studie die unmittelbaren, fusionsbedingten Veränderungen der Wirbelsäulenkinematik in einem kontrollierten Großtiermodell untersucht.

Methoden: Fünf ausgewachsene weibliche Merinomixschafe wurden einer L3–L4-Wirbelsäulenfusion unterzogen. Ihre Wirbelsäulenbewegung wurde während der täglichen Aktivitäten mithilfe von zwei Dehnungsmessstreifen erfasst, die die Bewegungen von Flexion und Extension aufzeichneten. Die Messungen erfolgten zweimal präoperativ, am ersten und dritten postoperativen Tag sowie anschließend einmal wöchentlich über einen Zeitraum von zehn Wochen, während sich die Schafe frei bewegen konnten. Die aufgezeichneten Bewegungen wurden anhand ihrer Winkelamplitude in Flexion und Extension über die gesamte Sensorlänge sowie segmental kranial und kaudal des fusionierten Segments analysiert.

Ergebnisse: Nach 10 Wochen zeigte die gesamte Lendenwirbelsäule eine signifikante Zunahme kleiner Bewegungen $< 10^\circ$ (Flexion: +3%, $p = 0.028$; Extension: +3.5%, $p = 0.025$) und eine Abnahme von Extensionen zwischen $15\text{--}20^\circ$ (-1.5%, $p = 0.033$) (Abb. 1a). Kranial des Fusionssegments blieben die Bewegungsamplituden über alle Winkelbereiche hinweg unverändert. Kaudal waren Flexionen zwischen $8\text{--}10^\circ$ (-3.3%, $p = 0.044$)

und $10\text{--}12^\circ$ (-2.8%, $p = 0.016$) signifikant reduziert (Abb. 1b).

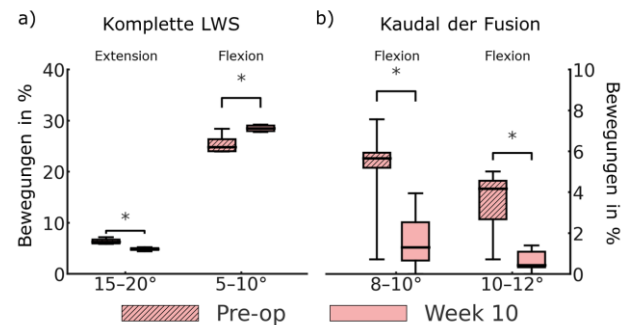


Abb. 1: Boxplots der Bewegungsverteilung: a) $5\text{--}10^\circ$ (gesamte LWS, Flexion) und $15\text{--}20^\circ$ (gesamte LWS, Extension) sowie b) $8\text{--}10^\circ$ und $10\text{--}12^\circ$ (kaudal der Fusion, Flexion), jeweils Pre-Op (schraffiert) vs. Woche 10 (vollflächig).

Diskussion: Die beobachtete Verschiebung des lumbalen Bewegungsprofils hin zu kleineren Bewegungsamplituden spricht für eine globale Stabilisierungsstrategie, bei der häufige Anpassungen mit geringer Bewegungsweite größeren Auslenkungen vorgezogen und letztere durch erhöhte neuromuskuläre Kontrolle begrenzt werden. Unveränderte Amplituden im kranialen Bereich deuten auf eine frühe Kompensation oberhalb der Instrumentierung hin, während die Reduktion größerer Bewegungen im kaudalen Bereich auf eine reduzierte segmentale Mobilität und eine veränderte Lastverteilung schließen lässt. Insgesamt legen diese segmentalen Veränderungen nahe, dass entgegen bisherigen Annahmen aus der Humanliteratur eher eine Stabilisierung der benachbarten Segmente als eine Hyperbeweglichkeit auftritt.

Acknowledgement: Diese Arbeit entstand in der DFG geförderten Forschungsgruppe (FOR 5177, GZ RE 4292/3-1; SCHM 2572/11-1; SCHM 2572/13-1).

References

1. Nakajima et al., 2024, Sci Rep, 2024. 14(1): p. 9145
2. Park et al., 2004, Spine 29(17):p 1938-1944



HOW DO I START SURFING? BIOMECHANICAL DIFFERENCES IN BACKSIDE AND FRONTSIDE BOTTOM TURNS AFTER POP UP IN SURFING

Alexander Weiss (1), Matthias Thelen (2), Brendon Ferrier (3), Èric Lluch (4), Anne D. Koelewijn (1)

1. Chair of Autonomous Systems and Mechatronics, FAU Erlangen-Nürnberg, Germany; 2. Institute for Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, Germany; 3. Surf Lab, School of Applied Sciences, Edinburgh Napier University, Scotland; 4. Siemens Healthineers, Digital Technology and Innovation, Erlangen, Germany

Introduction: In recent years, interest in the biomechanical analysis of surfing and related board sports has grown substantially. Previous studies have focused on isolated aspects of surfing performance, such as balance and coordination during the pop-up or lower-limb mechanics in simulated jumps [1,2]. However, most relied on laboratory-based technologies, like optical motion capture and force plates, which, despite their accuracy, are impractical in open-water environments. It has recently been demonstrated that integrating inertial measurement unit (IMU) data with human pose estimation (HPE) from video enables feasible biomechanical analysis of surfing [3], though this was limited to stationary river wave surfing, lacking a transition from paddling to surfing. The bottom turn, immediately after the pop-up, is one of the most crucial maneuvers in surfing, as it determines the setup, direction, and power of all subsequent maneuvers and correlates with performance scoring [4,5]. We therefore compared the frontside and backside bottom turns of surfers, which brings valuable insights into biomechanical differences that determine surfing performance.

Methods: We collected data from two experienced regular stance surfers in a controlled wave pool (Lost Shore Surf Resort, Edinburgh, Scotland). Each surfer was equipped with ten IMUs, and a camera was mounted on the surfboard. Joint angles were derived from 3D keypoints obtained via a fine-tuned HPE model and compared with recordings of additional cameras around the wave [3]. Relative IMU orientations were computed using singular value decomposition based on gravity direction and sagittal-plane calibration movements [3]. We then compared joint angles and IMU-derived forces during the first bottom turn, analyzing backside surfing of the surfers on left waves and frontside surfing on right waves.

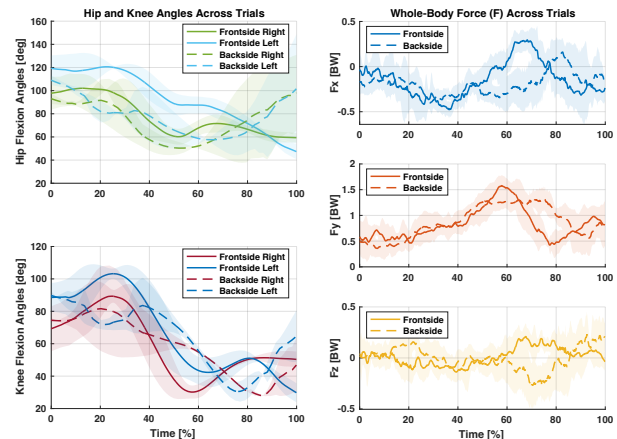


Fig. 1: HPE-derived hip and knee angles from the on-board camera on the left and IMU-derived force estimation in bodyweights (BW) on the right of the bottom turns.

Results: The backside surfer initiated the turn with more extended hip joints to prepare for the upper body rotation required to perform the turn, whereas the frontside surfer's hip joints were more flexed, indicating less upper body rotation. Peak knee extensions were shifted by approximately 20% between surfers (Fig. 1). Vertical forces during the backside bottom turn extended over a ~15% longer duration with a lower mean peak value (1.34 vs. 1.58 BW). A similar trend was observed for forces in the wave direction (F_x : 0.16 vs. 0.3 BW).

Discussion: This study has demonstrated the feasibility of biomechanical surfing analysis using combined on-board and on-surfer sensor data. The flatter force and knee extension profile of the backside surfer suggests a favourable turning strategy compared to the frontside surfer [4]. Future work will use the sensor data in optimal control to enhance the biomechanical analysis.

References

1. Borgonovo-Santos et al, *Sensors*, 5:1783, 2021
2. Forsyth et al, *J. Sports Sci.*, 39:2567-2578, 2021
3. Weiss et al, *Multibody Syst. Dyn.*, 1573, 2025
4. Souza et al, *Braz. J. Kinanthropom. Hum. Performance*, 14: 554-561, 2012
5. Whitting et al, *Scand J Med Sci Sports*, 34:11, 2024



BIOMECHANICAL POTENTIAL OF SELF-STABILIZING OSTEOTOMIES FOR MANDIBULAR RECONSTRUCTION AND SIMULATION OF THE HEALING OUTCOME

Kilian Richthofer (1,3), Philipp Ruf (2), Sara Checa (1,3)*, and Carsten Rendenbach (2)*

1. Julius Wolff Institute, BIH at Charité, Berlin, Germany; 2. Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Charité Universitätsmedizin Berlin, Germany; 3. Institute of Biomechanics, TUHH Hamburg University of Technology, Hamburg, Germany; *shared last authorship

Introduction: Mandibular reconstruction with fibula free flaps is often complicated by non-union, underlining the need for improved fixation strategies. Previous studies on bony self-stabilization indicate its potential for mandibular reconstruction but are lacking clinical applicability [1]. Therefore, this study investigates whether simpler self-stabilizing osteotomies can enhance stability and make clinically beneficial but mechanically weaker fixation systems applicable.

Methods: Finite element (FE) models of one-segmental fibula-free-flap reconstructions were developed with conventional and self-stabilizing tongue-groove osteotomies (Fig. 1). Combinations of different shapes of titanium, magnesium, and hydroxyapatite–poly–L–lactide fixation plates were evaluated under unilateral biting loads representative of early healing. Strains in the inter-segmental gaps were compared to estimate healing capability and stresses in fixation systems were quantified to assess fixation failure risk. In addition, an iterative mechano-biological bone-healing computer model was adapted to compare healing in flat and non-locking osteotomies in the clinical course.

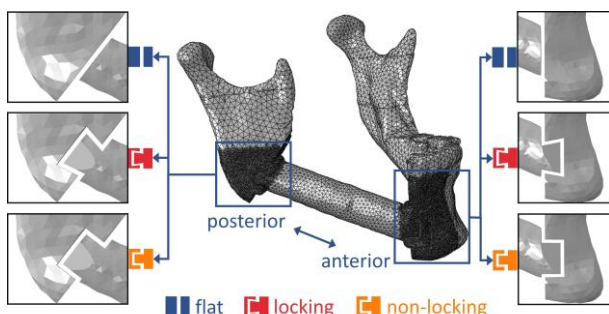


Fig. 1: Different Osteotomies compared

Results: Across all tested scenarios, short titanium reconstruction plates provided the most reliable posterior fixation. Between the two self-stabilizing designs, the non-locking osteotomy consistently reduced callus strain and fixation stress, enabling magnesium plates to perform comparably to titanium. The combination of a short titanium reconstruction plate posteriorly and a single 1.5 mm magnesium miniplate anteriorly with a non-locking self-stabilizing osteotomy emerged as the most promising setup, offering mechanical safety, biodegradability, and fewer imaging artifacts in the region relevant for dental rehabilitation.

The bone-healing simulations reproduced clinical healing dynamics and confirmed the benefits of self-stabilizing osteotomies, predicting increased intercortical volume and improved bone formation (Fig. 2).

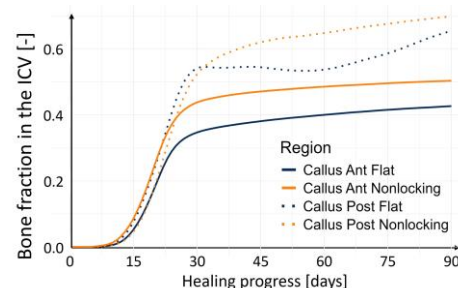


Fig. 2: Bone formation in intercortical volume in flat vs. non-locking osteotomy

Conclusion: These findings highlight tongue-groove osteotomy design as a promising approach to improve bone healing outcomes and to support the clinical introduction of resorbable materials in mandibular reconstruction.

References

1. Gottsauner et al, Journal of Oral and Maxillofacial Surgery 82:235-245, 2024



PRIMÄRSTABILITÄT ZWEIER „FIX-AND-REPLACE“-VERFAHREN BEI ACETABULÄREN T-FRAKTUREN: OPTISCHE 3D-MESSUNG UNTER DYNAMISCHER BELASTUNG

N. Beckmann (1), R. Ernst (2), S. Jakobs (3), M. Müller (4), H. Kuttner (2), T. Aebi (5), J. Bastian (2)

1. University of Heidelberg, Center for Orthopaedics, Traumatology and Spinal Cord Injury, Heidelberg, Germany; 2. Inselspital, Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, Bern, Switzerland; 3. RMS Foundation, Bettlach, Switzerland; 4. Inselspital, Department of Emergency Medicine, Bern, Switzerland; 5. DePuy Synthes, Zuchwil, Switzerland

Einleitung: Pelvine Diskontinuitäten bei T-förmigen Acetabulumfrakturen stellen eine biomechanische Herausforderung mit zunehmender Bedeutung dar [1-2]. Fix-and-Replace-Verfahren mit zusätzlicher Endoprothetik sind eine vielversprechende Option, jedoch fehlt es an vergleichender biomechanischer Evidenz. Ziel dieser Studie war der Vergleich zweier etablierter Techniken hinsichtlich ihrer Primärstabilität.

Material & Methode: Sechs Sawbones-Modelle mit simulierter Kortikalis und mit standardisiert eingebrachter T-Fraktur, wurden je nach Gruppe mit einem Burch-Schneider-Ring (BSR) oder einem Verstärkungsring (RR) mit Platte versorgt. Die Belastung erfolgte in einer dynamischen Prüfmaschine (200 N bis 1200 N, LTM Zwick). Ein optisches 3D-Messsystem (GOM Aramis) erfasste die Mikrobewegung in vier definierten Frakturzonen (Abb. 1). Ein Spalt $\geq 1000 \mu\text{m}$ wurde als Versagen gewertet.

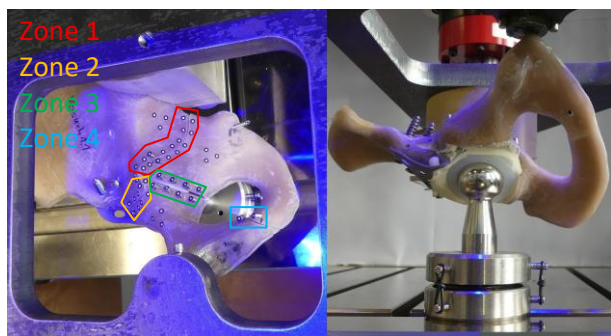


Abb. 1: Optische Marker entlang Frakturlinie (links) und Prothesenkopf auf gleitfähiger Abstützung zur Lastübertragung (unten)

Ergebnisse: Bis 800 N zeigten beide Verfahren vergleichbare und geringe Mikrobewegungen in allen Frakturzonen. Bei 1200 N traten signifikant größere Bewegungen in den Zonen 2–4 bei Ver-

sorgung mit RR auf, während die Stabilität in Zone 1 keinen signifikanten Unterschied zeigte (Abb. 2). In keinem Fall kam es zum Erreichen der definierten Ausfallgrenze von $1000 \mu\text{m}$.

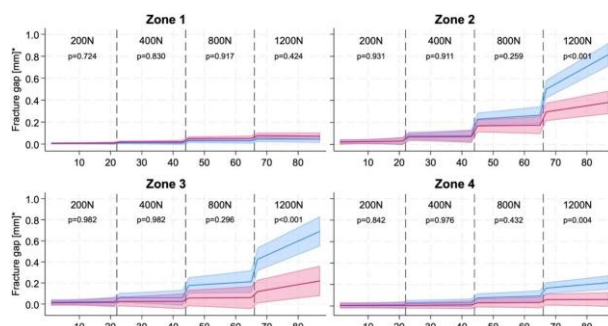


Abb. 2: Frakturspalt unter Last in vier Zonen für BSR (rot) und RR (blau). *95 %-KI des prädiktiven Mittelwerts.

Diskussion: Beide „Fix-and-Replace“-Verfahren bieten ausreichende Primärstabilität unter zyklischer Belastung. Der BSR zeigte jedoch unter hohen Lasten eine signifikant geringere Frakturspaltbewegung, insbesondere in den Zonen 2 und 3. In Zone 1 – der klinisch relevantesten Zone – blieb die Stabilität beider Methoden vergleichbar, wobei BSR durchgängig engere Spaltmaße aufwies. Die optische 3D-Analyse unter zyklischer Belastung erlaubt eine quantitative Bewertung der Stabilität sowie die Analyse des zeitlichen Verlaufs potenzieller Versagensmechanismen.

Förderung: Deutsche Arthrose-Hilfe e.V.; RMS Foundation.

Referenzen:

1. Ding et al., J Orthop Trauma, 32:e251–e257, 2018
2. Ebrahimi et al., Arch Orthop Trauma Surg, 143:6665–6673, 2023



EIN KOMBINIERTES INTRAMEDULLÄRES PLATTE-NAGEL-ABSTÜTZUNGSSYSTEM ZUR VERSORGUNG VON PROXIMALEN HUMERUSKOPFFRAKTUREN

Lisa Marie Tiesler (1,2), Florian Metzner (1,2), Jan Dirk Theopold (2), Tobias Schöbel (2), Pierre Hepp (2)

1. ZESBO – Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Universität Leipzig, Leipzig; 2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und plastische Chirurgie, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland;

Einleitung: Proximale Humerusfrakturen stellen aufgrund der anatomischen Gegebenheiten hinsichtlich der Reposition und Stabilisation eine chirurgische Herausforderung dar. Zur Versorgung der teils komplexen Frakturtypen bietet die Kombination intra- und extramedullärer Osteosyntheseverfahren einen vielversprechenden Ansatz. Das Potenzial dieser kombinierten Techniken liegt in der Vereinigung der jeweiligen Implantatvorteile, wodurch eine besonders rotationsstabile Frakturschienung bei gleichzeitig verbesserter medialer Abstützung erreicht werden kann.

Methoden: Die Studie umfasste 40 frische, tiefgefrorene Humeri, welche paarweise von 20 Körperspendern entnommen wurden. Diese wurden unter Berücksichtigung der Knochendichte in zwei Gruppen mit jeweils 20 Humeri eingeteilt. In Vorbereitung auf die biomechanischen Testungen wurden die Humerusschäfte auf eine Länge von 20 cm zugeschnitten und mittels Schnellgießharz in zylindrischen Hülzen fixiert sowie im Bereich des chirurgischen Halses mit einem 1 cm großen Frakturspalt versehen. Von jedem Humerus-Paar wurde randomisiert eine Seite mit einer Kleinfragmentplatte und die Gegenseite mit einem neuartigen Nagel-Platten-System versorgt (bereitgestellt durch Intercus GmbH, Abb. 1 links). Anschließend durchlief Gruppe 1 eine zyklische axiale Kompression in 20° Abduktion im Bereich von 10-250 N. Während die Präparate der Gruppe 2 durch eine zyklische Torsionsbelastung von ± 2 Nm beansprucht wurden (Abb. 1 rechts). Beide Prüf Szenarien umfassten 5000 Zyklen bei einer Belastungsfrequenz von 1 Hz. Mit einem 3D-Kamerasystem wurden die Relativbewegung und die graduelle Verkipfung im Frakturspalt erfasst.

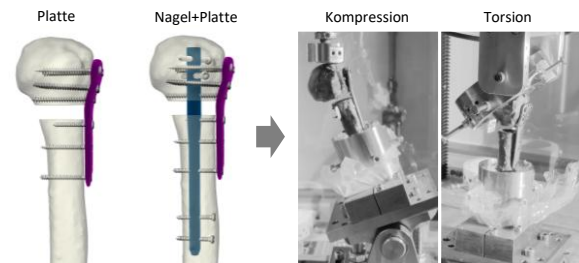


Abb. 1: Versorgungsvarianten (links) und Prüf szenarien (rechts)

Ergebnisse: Mit einer Nagel-Platten-Osteosynthese konnten die Frakturbewegung sowie die Verkipfung bei axialer Kompression im Vergleich zur alleinigen Plattenosteosynthese durchschnittlich um 84,4% bzw. 88,2% reduziert werden. Unter zyklischer Torsionsbelastung zeigte die Nagel-Platten-Osteosynthese eine Verringerung der Frakturbewegung um 80,7% sowie eine Reduktion der Verkipfung um 71,2%.

Diskussion: Durch die Kombination intra- und extramedullärer Osteosyntheseverfahren lässt sich die Frakturstabilität sowohl in axialer als auch in translatorischer Richtung im Vergleich zur alleinigen Anwendung einer Kleinfragmentplatte erhöhen. Die Ergebnisse zeigen, dass mit einer kombinierten Nagel-Platten-Osteosynthese eine verbesserte mediale Abstützung sowie eine erhöhte Rotationsstabilität erzielt werden kann. Diese Merkmale des innovativen Osteosynthesekonzepts am proximalen Humerus bieten eine vielversprechende Alternative zu bestehenden operativen Behandlungsverfahren bei komplexen Humeruskopffrakturen.

Förderung: Diese Studie wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Fördernummer ZIM KK5250808SK2) gefördert.



ANALYSE DER VORSPANNUNG BEI IMPLANTATION EINER GEFLOCHTENEN SYNTHETISCHEN AUGMENTATION FÜR DAS VORDERE KREUZBAND

Saskia Hesse (1), Benedict Bauer (1), Thomas Gries (1), Caroline Emonts (1)

1. Department of Medical Textiles, Institut für Textiltechnik, RWTH Aachen University, Aachen, Germany

Einleitung: Bei Erhalt des vorderen Kreuzbandes (VKB) nach einer Ruptur oder Teilruptur werden Augmentations-Implantate als stützende Struktur eingesetzt. Derzeit verfügbare Implantate sind jedoch nicht resorbierbar und nicht auf die Mechanik des Knies ausgelegt, weshalb an geflochtenen langzeitdegradierbaren Implantaten aus Poly- ϵ -Caprolacton (PCL) geforscht wird. Diese bieten ein physiologisches biomechanisches Verhalten und fördern die Gewebeneubildung [1, 2]. Vorarbeiten belegen, dass das biomechanische Verhalten des Implantats durch prozessseitige Parameter so eingestellt werden kann, dass ein S-förmiger Kurvenverlauf im Kraft-Dehnungs-Diagramm analog zum nativen Gewebe erzielt wird [1]. Hierbei ist im Besonderen der nicht-lineare Bereich zu Beginn der Kurve relevant, in welchem im nativen Band die Kollagenfasern noch im gewellten Zustand vorliegen und erst unter Last ausgerichtet werden. Dieses Verhalten soll vom Implantat imitiert werden. Hierfür ist entscheidend, mit welcher Vorspannung dieses implantiert wird. In dieser Studie wird der Einfluss der Vorspannung auf das Kraft-Dehnungs-Verhalten des Implantats untersucht.

Methoden: Die Implantate werden aus schmelzgesponnenen PCL-Monofilamenten geflochten und sind mehrlagig aufgebaut. Zur Untersuchung des Einflusses der Vorspannung werden fünf Testkonfigurationen getestet. Die Versuche werden als statische Zugversuche mit einer Prüflänge von 40 mm und einer Prüfgeschwindigkeit von 40 mm/min durchgeführt [1]. Untersucht werden die Vorspannungen 2 N, 15 N, 30 N, 55 N und 80 N. Die Vorgabe der 2 N entspricht der Norm NF S 94-167- 2.

Ergebnisse: Die Tests zeigen, dass die Vorspannung Einfluss auf das Kraft-Dehnungs-Verhalten des Implantats hat. Bei einer Vorspannung von 2 N ist ein deutlicher S-förmiger Kurvenverlauf zu sehen, während der nicht-lineare Bereich zu Beginn der Kurve bei 80 N Vorspannung deutlich verkürzt ist.

Das Erhöhen der Vorspannung zeigt insgesamt eine Verschiebung nach links der Kraft-Dehnungs-Kurven, sodass die Dehnung bei maximaler Kraft abnimmt. Die Verschiebung der Kurve führt zudem zu einer erhöhten Steifigkeit in den physiologischen Belastungsbereichen bei 210 N und 630 N.

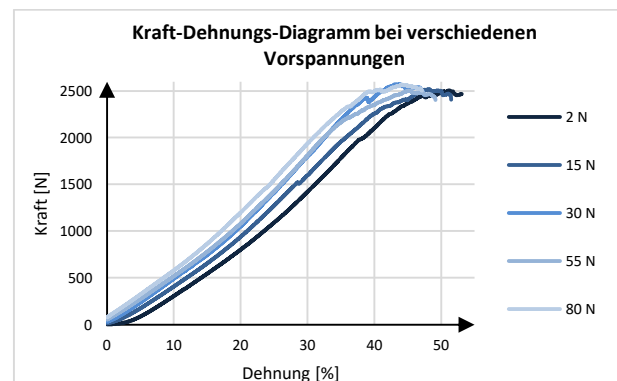


Abbildung 1: Kraft-Dehnungs-Diagramm

Diskussion: Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die aufgebrachte Vorspannung einen signifikanten Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des Implantats hat. Mit zunehmender Vorspannung wird die Ausprägung des nicht-linearen Bereichs verringert, was eine Veränderung des physiologisch-biomechanischen Verhaltens zur Folge hat. Diese Beobachtungen unterstreichen die Bedeutung der Vorspannung während der Implantation. Da in der derzeitigen klinischen Praxis keine Kontrolle der Vorspannung intraoperativ erfolgt, wird durch die Ergebnisse der Bedarf an der Entwicklung eines geeigneten Instruments zur kontrollierten Implantation deutlich. Anschließende Testungen werden sich mit der genaueren Ermittlung der idealen Vorspannung befassen, um ein Implantat zu entwickeln, dass dem Patienten eine bestmögliche Versorgung und langfristige physiologische Belastung ermöglicht.

Referenzen

- [1] Emonts 2023, 10.18154/RWTH-2024-08389
- [2] Urbanek et al. 2023, 0.3390/biomedicines11020507



REVISION STRATEGIES FOR LOOSENED PEDICLE SCREWS: LARGER SCREW DIAMETER, CEMENT AUGMENTATION OR BOTH?

Fabian Krumm, Werner Schmölz, Romed Hörmann, Richard Lindtner

Medizinische Universität Innsbruck, Univ. Klinik für Orthopädie und Traumatologie, Innsbruck, Österreich

Introduction: Pedicle screw implantation is widely used in spinal surgery. Despite advancements in implant design and augmentation techniques, pedicle screw loosening remains a significant clinical challenge, often requiring revision surgery due to persistent pain and spinal instability. Common revision strategies include increasing screw diameter (upsizing), polymethylmethacrylate (PMMA) augmentation, or a combination of both. However, to date, no study has systematically evaluated the efficacy of these techniques under physiological conditions. The present cadaveric study investigated the most commonly used revision techniques in restoring pedicle screw anchorage.

Methods: Twenty-nine fresh-frozen vertebrae (L1-L5; BMD: $81.6 \pm 16.1 \text{ mg/cm}^3$; age: 74.4 ± 7.4 years) were instrumented using 6.2x45mm monoaxial, cannulated and fenestrated pedicle screws. Screws were subjected to cyclic cranio-caudal loading with increasing load magnitude until screw loosening occurred. Loosened pedicle screws in group 1 (n=14) were revised using either 6.2mm PMMA augmented screws or 8.2mm non-augmented screws and in group 2 (n=15) with 7.2mm PMMA augmented or 7.2mm non-augmented screws. The previous loading protocol was then repeated. During initial and revision loosening tests, load at failure and cycles until loosening were recorded. After failure, pull-out tests were performed to evaluate residual anchorage. Pairwise left-right comparisons were made in each vertebra within groups (Wilcoxon signed-rank test, paired-sample t-test)

Results: Load levels at loosening did not differ between the initial 6.2mm screws in both groups ($p > 0.05$). In group 1, both revision techniques resulted in significantly higher load levels compared to the initial screws (6mm augmented: $260.4 \pm 112.9 \text{ N}$ to $350.7 \pm 140.4 \text{ N}$, $p = 0.02$; 8mm non-

augmented: $248.6 \pm 105.7 \text{ N}$ to $311.8 \pm 115.7 \text{ N}$, $p = 0.005$). In group 2, only the 7mm augmented screws improved anchorage ($287.3 \pm 90.0 \text{ N}$ to $482.0 \pm 126.3 \text{ N}$, $p < 0.001$) whereas the 7mm non-augmented screws did not ($311.3 \pm 136.5 \text{ N}$ to $295.3 \pm 127.9 \text{ N}$, $p = 0.57$). The highest relative improvement was achieved by the 7mm augmented screws with a mean of $175 \pm 39\%$ of the initial screws. Pull-out force was significantly higher for augmented screws (group 1: $1368.1 \pm 402.0 \text{ N}$ vs. $715.9 \pm 225.2 \text{ N}$, $p < 0.001$; group 2: $1256.6 \pm 252.7 \text{ N}$ vs. $717.1 \pm 274.2 \text{ N}$, $p < 0.001$).

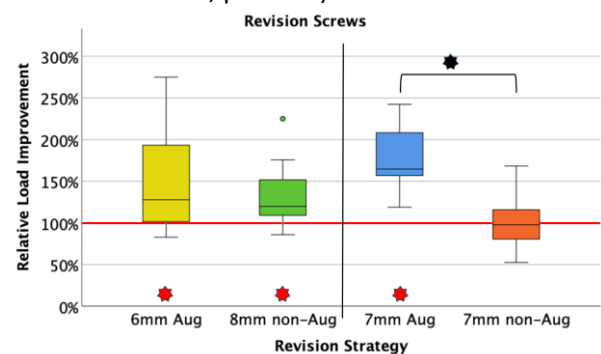


Fig. 1: Relative load improvement of the revision techniques

Discussion: Increasing the screw diameter by only 1 mm without augmentation may restore the load-to-failure strength of the initial screw; however, this approach carries the risk of recurrent loosening. Among the available strategies to enhance screw anchorage in revision surgeries for loosened pedicle screws, both 2 mm screw upsizing and polymethylmethacrylate (PMMA) augmentation have demonstrated significant improvements in fixation strength. Notably, the combination of upsizing and PMMA augmentation has shown the most promising results, offering superior anchorage compared to either technique alone.



SIMULATION-BASED ASSESSMENT OF MAGNESIUM VS. TITANIUM FIXATION USING FIRST-IN-HUMAN MANDIBULAR MAGNESIUM MINI PLATES

Dawei Zhang (1), Songyun Ma (1), Bernd Markert (1), Carsten Rendenbach (2), Thomas Kött (3), Agnes Beckmann (3)

1. Institute of General Mechanics, RWTH Aachen University, Aachen, Germany; 2. Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Charité - corporate member of Freie Universität Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Germany; 3. KLS Martin SE & Co. KG, Mühlheim an der Donau, Germany

Introduction: Titanium osteosynthesis is the current standard treatment for mandibular reconstruction. However, in cases of osteoradionecrosis, healing efficacy and implant integration remain challenging, motivating the development of resorbable biomedical materials such as magnesium alloys. In particular, PEO-coated WE43 magnesium alloys have emerged as promising biodegradable materials for mandibular reconstruction, and their successful first clinical application represents an important milestone in resorbable implant technology [1]. In this work, we present a computational approach to investigate the degradation behaviour of PEO-coated WE43 magnesium implants and their interaction with tissue differentiation during fracture repair [2]. Specifically, this study aims to numerically evaluate the biomechanical performance of PEO-coated WE43 magnesium miniplates over a six-week period by comparing with conventional titanium alloy instrumentation, based on the clinical case of the first-in-human application of a patient-specific WE43 magnesium miniplate in mandibular reconstruction.

Methods: The finite element model by Rendenbach et al. (Fig. 1) was extended to a mechano-regulation framework considering biphasic stimuli for tissue differentiation, while a continuum damage model was incorporated to characterize pitting corrosion in magnesium implants [1][2].

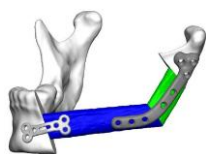


Fig. 1: Instrumented mandible with Mg-implant (anterior) and Ti alloy reconstruction plate.

In the FEM simulations, a bite force of 100 N was applied perpendicular to the occlusal plane at the first right molar, with corresponding muscle forces prescribed to maintain equilibrium. Both condyles were fully constrained in all six degrees of freedom to ensure static determinacy of the model [3]. Screws were modelled as cylinders with screw heads, which were tied to the bone, while frictional contact was defined at implant–bone and screw head–implant interfaces. Implant stresses were evaluated using the von Mises criteria relative to the respective material yield strengths.

Results: Bone healing progressed further with the PEO-treated magnesium implant than with the titanium alloy over the six-week simulation period. Standardised von Mises stresses were higher in the magnesium implant, although below its yield limit.

Discussion: The simulation demonstrates that PEO-coated magnesium implants can maintain sufficient mechanical integrity during the early healing stage while promoting more efficient bone regeneration compared to titanium implants. Despite high von Mises stresses in the magnesium implant, they consistently remained below the material yield limit, indicating a safe load-bearing capacity. These findings support the potential of resorbable magnesium implants as a viable alternative to permanent titanium devices in mandibular reconstruction, especially in compromised bone conditions such as osteoradionecrosis.

References

1. Rendenbach et al, DGZMK Berlin, 2025
2. Ma et al, Zamm, 2017
3. Andres, A. et al, Bioengineering, 12:5, 2025



EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG BOHRPROZESSRELEVANTER DREHMOMENTE AM HUMANEN SPENDERBECKEN ZUR AUSLEGUNG NEUER OP-INSTRUMENTE

Robin Heilmann (1,2), Benjamin Fischer (1,2), Sascha Kurz (1,2), Georg Osterhoff (2)

1. ZESBO – Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Universität Leipzig
2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und plastische Chirurgie, Universität Leipzig

Einleitung: Bei navigierten oder robotisch assistierten Verfahren in der Wirbelsäulen- und Beckenchirurgie müssen Bohrparameter wie Drehmoment, Vorschub und Drehzahl bekannt sein, um Antriebe, Sicherheitsgrenzen und Regelstrategien sicher auslegen zu können. Für das Sakrum liegen dazu nur wenige experimentelle Daten vor. Ziel dieser Arbeit war es, repräsentative Drehmomentverläufe für definierte Bohrstellen am Sakrum und Ilium zu erfassen.

Methoden: An humanen Spenderbecken wurden die in Abb. 1 dargestellten Bohrregionen am Sakrum sowie am Ilium per Holz-, Metall- und Stahlbohrern in den Durchmessern 3, 4 und 5 mm gebohrt. Die Messung des Drehmoments erfolgte kontinuierlich mit einem Drehmomentaufnehmer Kistler 4501A020HA. Die Bohrspindel lief mit 25 U/min. Die Vorschubkraft wurde über ein hängendes Gewicht von 2 kg realisiert, entsprechend einer konstanten Vorschubkraft von 19,6 N. Für jede Kombination aus Bohrstelle und Werkzeugdurchmesser wurden mehrere Wiederholungen durchgeführt und als Boxplots ausgewertet (vgl. Abb. 2)

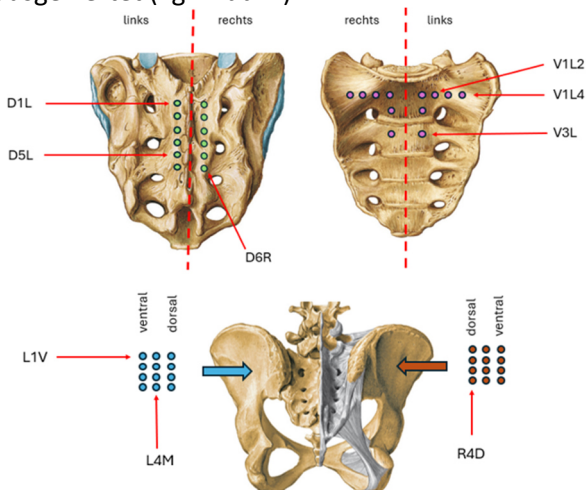


Abb.1: Bohrpunkte am Sakrum und Ilium

Ergebnisse: Über alle Regionen stieg das Drehmoment mit Bohrerndurchmesser und Werkzeugsteifigkeit. Bei Holzbohrern lagen die Medianwerte bei 3 mm unter 0,1 Nm, bei 4 mm bei ca. 0,1–0,15 Nm und bei 5 mm bei 0,15–0,25 Nm. Metallbohrer zeigten ein ähnliches Niveau, aber stärkere Streuung. Die höchsten Momente traten bei 5-mm-Stahlbohrern auf (bis ca. 0,6 Nm). Zwischen mittigen und lateralen Sakralpunkten zeigten sich Unterschiede, was auf lokale kortikale Variationen hinweist.

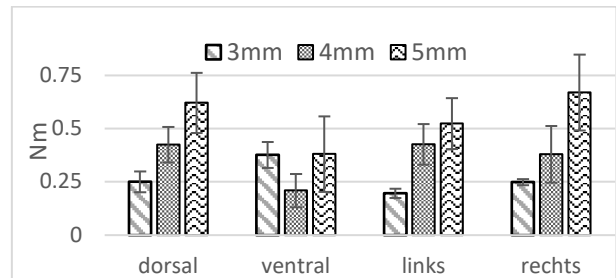


Abb.2: Max. Bohrdrehmoment nach Region

Diskussion: Die Messungen zeigen, dass für Bohrungen am Sakrum bereits bei niedriger Drehzahl (25 U/min) und moderatem Vorschub (19,6 N) Drehmomentspitzen bis in den Bereich von 0,6 Nm auftreten können. Für die Auslegung motorisierter oder robotischer Bohrmodule bedeutet das: (I) Der Antrieb muss diese Spitzen sicher abdecken und zugleich ein fein regelbares Moment im Bereich $<0,1$ Nm bereitstellen. (II) Die deutliche Streuung zwischen den Bohrstellen spricht für adaptive Regelstrategien (momenten- oder vorschubgeführt), statt rein positions-basierter Abläufe. (III) Die hier gewonnenen Werte können als erste Referenzkurve für simulations-gestützte Werkzeugentwicklung und für Sicherheitsgrenzen (z.B. Abschalten bei unerwartetem Momentanstieg) genutzt werden. Weitere Messungen sollten durchgeführt werden, um den Einfluss der Knochenqualität (vBMD) zu untersuchen.



PRIMARY STABILITY EVALUATION OF AN ADDITIVELY MANUFACTURED CEMENTLESS TIBIA IMPLANT UNDER DYNAMIC STAIR CLIMBING CONDITIONS WITH COMPRESSION-SHEAR AND TORSION IN HUMAN TIBIAE

Julius C Dohm (1,2), Christoph Schilling (1), Berna Richter (1), Sunil P Reddy (3,4), Stefan Landgraeber (5), Lukas Reissig (6), Egon Perilli (7), Thomas M Grupp (1,2)

1. Aesculap AG Research and Development, Tuttlingen, Germany
2. Ludwig Maximilians University Munich, Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, Musculoskeletal University Center Munich (MUM), Campus Grosshadern, Munich, Germany
3. The Joint Replacement Clinic, Adelaide, SA, Australia
4. Department of Orthopaedics, Lyell McEwin Hospital, Adelaide, SA, Australia
5. UKS – Saarland University Medical Center, Clinic for Orthopedics and Orthopedic Surgery, Homburg, Germany
6. Centre for Anatomy and Cell Biology Dept. of Anatomy, Medical University Vienna, Vienna Austria
7. Medical Device Research Institute, College of Science and Engineering, Flinders University, Adelaide, Australia

Introduction: During the last decade, the use of cementless TKA implants has increasingly become popular [1,2]. This study compares a newly developed additively manufactured cementless titanium alloy tibia implant to a clinically established CoCr28Mo6 implant design with porous titanium coating, by means of digital image correlation (DIC) under dynamic compression-shear and torsion knee loading to simulate stair climbing conditions.

Methods: Eight fresh-frozen human donor tibia pairs were implanted with either Columbus® CR/DD (CoCr28Mo6-alloy), or in-development cementless oneKNEE® CR/CS (Ti6Al4V-alloy) tibiae implants (Ethical approval LMU Munich 23-0679). Prior to testing, specimens were CT-scanned to determine bone mineral density. Relative micromotion and permanent migration of the implanted tibial tray during loading was captured laterally and anteriorly onto the respective tibia implant interface. A dual camera setup was used (ARAMIS 12M, Carl Zeiss, Germany) for precise tracking. For the load application, tibia-femoral contact points were defined for both implant designs representing stairs up movement, based on knee wear simulator results [3]. Femoral implants were fixed on the test machine in 37° flexion in relation to the tibial base plate simulating peak joint loading, with the contact force applied in a peak sinusoidal waveform (frequency 0.5 Hz) and a medial to lateral load ratio of 70% to 30%, and an increasing lateral

rotation of up to 2.12° when Fmax was applied [4,5]. Loading was set to 1200 N initially and then increased to 6000 N (Steps 600 N, 300 cycles). Images were captured at 25 Hz and recorded after 150 and 300 cycles for each load step [6].

Results: The additively manufactured cementless titanium alloy tibia implant demonstrated micromovement equal to or smaller than the porous coated clinically established system under all loading conditions.

Discussion: We established a comparison between a newly developed additively manufactured titanium alloy tibia implant and a clinically established implant design under dynamic compression-shear loading with torsion. Both designs consistently maintained micromovement below the critical 150 µm threshold necessary for successful osseointegration and bone ingrowth, confirming adequate primary stability for biological fixation in appropriate bone quality. These findings validate the biomechanical performance of next generation cementless tibia implants and demonstrate the potential for a future successful clinical application of advanced porous architectures in cementless TKA.

References

1. AOA NJRR Annual Report, 2024.
2. Mosher et al, J Arthroplasty,;39(9):S45-53, 2024.
3. Puente Reyna et al, J Biomechanics,79,88-96, 2018.
4. Bergmann et al, PloSOne, 9.1:e86035, 2014.
5. Taylor et al, J Biomechanics, 65:32-39, 2017.
6. Grupp et al, J Biomechanics, 59:9-22, 2017.



UNTERSUCHUNG INDIVIDUELLER 3D-DRUCK-WIRBEL IM POLYJET-VERFAHREN

F. Metzner (1,2), R. Meißner (1,2), NH. v. d. Höh (2), P. Pieroh (2), C.-E. Heyde (1,2), S. Schleifenbaum (1,2)

1. Zentrum zur Erforschung der Bewegungs- und Stützorgane (ZESBO), Leipzig, DE; 2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie (KOUP), Leipzig, DE

Einleitung: Bedingt durch die Degeneration der Knochenarchitektur im Zuge der Osteoporose, kommt es vermehrt zu Wirbelkörperfrakturen infolge verringerter Knochendichte und struktureller Instabilität. Wirbelsteifigkeit und -festigkeit sind stark geometrieabhängig. Eine Untersuchung der Materialeigenschaften an Standard-Kunstwirbeln ist somit nur bedingt aussagekräftig. Ziel der Arbeit ist die Entwicklung individueller Wirbelmodelle im Polyjet-3D-Druck-Verfahren sowie die Evaluierung der Ergebnisse in Druckversuchen. Verglichen wurden die Druckeigenschaften mit denen humaner Wirbel sowie mit Standard-Kunstwirbeln.

Methoden: Es wurden CT-Scans von vier humanen Wirbeln (jeweils L3 und L4, Spender 1 osteopen; Spender 2 normale Knochendichte) angefertigt, daraus separate 3D-Modelle der Kortikalis und der Spongiosa segmentiert und die jeweilige mittlere Knochendichte der Spongiosa bestimmt. Zur Modellierung der 3D-Druck Spongiosa wurde ein über das Verhältnis von Stablänge zu -dicke (t/L) parametrisierbares Gittermodell entwickelt. In Vorversuchen wurden zylindrische Gitterproben (Abb. 1 links) verschiedener t/L -Verhältnisse und Materialkombinationen im Druckversuch geprüft. Über Kurvenanpassungen wurde aus den Kennwerten das zur Knochendichte passende, individuelle Gitter für die 3D-Druck-Wirbel dimensioniert. Die rekonstruierte Kortikalis und das errechnete Gitter wurden im Anschluss vereint und die entstandenen Modelle im Polyjet-Verfahren in drei Materialkombinationen gedruckt.

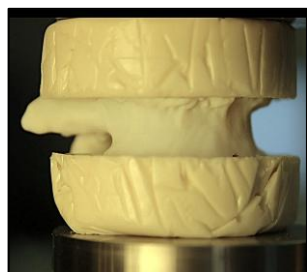
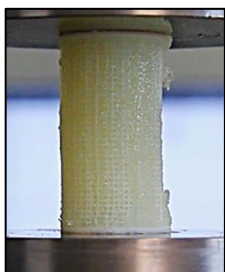


Abb. 1: Links: zylindrischer Gitter-Prüfkörper; Rechts: 3D-Druck-Wirbel mit Krafteinleitung

In Kompressionsversuchen wurde das Strukturverhalten der Standard-Kunstwirbel (Sawbone L3 und L4, osteoporotisch), der 3D-Druck Kunstwirbel und der unfixierten Humanpräparate untersucht. Für eine ideale Krafteinleitung wurden die Deckflächen der Wirbel mit Gießharz abgeformt (Abb. 1 rechts).

Ergebnisse: Die Ergebnisse der Vorversuche zeigten eine sehr gute Korrelation der Festigkeiten humaner und 3D-gedruckter Spongiosa.

Tab. 1: Abweichung der max. Kräfte in Bezug auf die Werte der Humanwirbel (1/2 osteopen, 3/4 normal); **SB:** Sawbone; **VW:** VeroWhite; **R:** RadioMatrix; **RA:** RadioAgilus

Wirbel (Human)		Abweichung in %			
Nr.	Kraft [kN]	SB	VW	R	RA
1	1,8	460	38	36	29
2	1,5	578	34	27	16
3	5,3	88	14	-17	-9
4	6,9	43	-98	-125	-140

Die Versagenskräfte der Wirbelmodelle wichen je nach Material unterschiedlich stark von denen der Spenderwirbel ab. Die Maximalkräfte der Sawbone-Wirbel waren im Vergleich zu den getesteten Humanpräparaten um 43 % - 578 % höher. Die individuellen 3D-Druckwirbel zeigten je nach Material deutliche Unterschiede in den Druckeigenschaften und Versagensverhalten. Je nach Materialkombination wurden Abweichungen der Maximalkräfte von weniger als 10 % im Vergleich zum Humanwirbel erreicht.

Diskussion: Das parametrisierte Gittermodell erlaubt die Individualisierung in Bezug auf die spongiöse Knochendichte. Die Ergebnisse belegen die Eignung individueller, 3D-gedruckter Kunstwirbel für in-vitro Untersuchungen der Wirbelsäule. Zukünftige Arbeiten sollten insbesondere auf Optimierungen von Druckmaterial, Kortikalisabbildung und Gitterstruktur abzielen, um die biomechanische Realität noch genauer abzubilden.



BIFROST: BIPLANAR FRACTURE RECONSTRUCTION FOR ORTHOPAEDIC SIMULATION AND TREATMENT

Mischa Mühling (1,2), Markus Greinwald (1,2), Sabrina Sandriesser (1,2), Robert Pätzold (3), Marianne Hollensteiner (1,2), Bernhard Hofstätter (4), Peter Augat (1,2)

1. Institute for Biomechanics, BG Unfallklinik Murnau, Germany; 2. Institute for Biomechanics, Paracelsus Medical University Salzburg, Austria; 3. Department of Trauma & Orthopaedic Surgery, BG Unfallklinik Murnau, Germany; 4. Stryker Trauma GmbH, Kiel, Germany

Introduction: Successful fracture treatment depends on mechanical factors such as anatomical alignment, fracture reduction, and fixation stability [1]. However, no diagnostic method allows assessment of osteosynthesis stability, leaving surgeons to rely on experience. Finite Element Analysis (FEA) can estimate parameters like interfragmentary motion (IFM), but its use is limited by the need for 3D imaging data and time-intensive segmentation and model generation. Clinically, fracture assessment is based on planar X-rays. CT scans, which provide 3D data, are typically reserved for complex or periarticular fractures. This study presents BIFROST: a workflow reconstructing 3D bone geometries from biplanar X-rays for efficient FEA-based biomechanical evaluation.

Methods: A semi-automated Python tool was developed for 3D reconstruction from biplanar X-rays (Fig. 1). Template bone geometries from the SOMA database [2] were adapted to individual anatomies using free-form deformation algorithms based on anteroposterior and mediolateral X-rays. The workflow was evaluated by comparing FEA from CT-based models (CT → segmentation → FEA) and 2D–3D reconstructions (X-ray → reconstruction → FEA). Axial Loading was applied between 25 N and 400 N. IFM were compared among experiment, gold-standard FEA, and 2D–3D FEA of a distally osteotomized human femur.

Results: Geometric comparison between the CT-segmented and 2D–3D reconstructed models showed mean deviations below 2 mm (Fig. 2). The maximum axial IFM at 400 N measured 4.7 mm experimentally, 5.1 mm in the CT-based reference FEA, and 4.5 mm in the BIFROST FEA. Across loading steps, the RMSE between experimental and simulated IFM ranged from 0.04 – 0.28 mm for the CT-based model and

0.05 – 0.26 mm for the BIFROST workflow. Both FEA approaches showed strong agreement (max. RMSE = 0.20 mm, Pearson's R = 0.99).

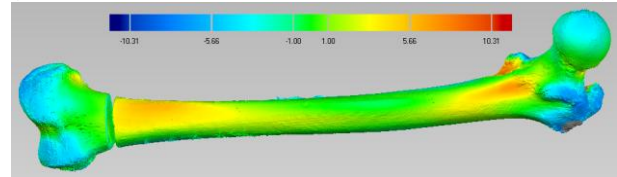


Fig. 2: Deviation between CT generated and BIFROST Femur-Model in mm

Discussion: BIFROST showed excellent agreement between 2D–3D–based and CT-based FEA, indicating that accurate biomechanical analysis is feasible without CT imaging. This capability could enable quantitative assessment of fixation stability directly from routine X-rays. Further validation across diverse anatomies and fracture configurations is needed to confirm general applicability. This approach provides surgeons with objective metrics for evaluation of implant load bearing performance.

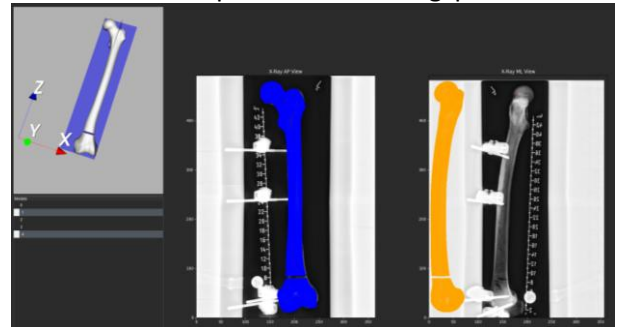


Fig. 1: User-Interface of the BIFROST Editor.

Notes: This study was financially supported by German Research Foundation (DFG) Nr. 517046477

References

1. Augat P. et al., Osteoporos Int, 16:36–43, 2005.
2. Schmidt W. et al., Surg Technol Int, 32:315–324, 2018.



AUTOMATED CAD RECONSTRUCTION OF NATURAL TEETH FROM CROWN SCANS

Oliver Roffmann (1), Meike Stiesch (1), Andreas Greuling (1)

1. Department of Prosthetic Dentistry and Biomedical Materials Science, Hannover Medical School, Hannover, Germany

Introduction: One of the main time-consuming aspects of performing finite element simulations is the generation of CAD models. In this work, a rule-based, scan-driven model generator for natural teeth, which has been implemented in Rhino/Grasshopper, is presented. This study aimed to automate and parameterise the generation of a tooth digitally, based on an STL scan of a dental crown (Fig. 1). Moreover, the generation process accounts for the distinct dental tissues, including enamel, dentin, and the pulp/root canal.

Methods: In this study, a series of first right maxillary premolars (14) with differently selected attributes, such as the number of roots or the root length, were generated from the same crown. The generated models of the maxillary right first premolar were used in a finite element study to assess the influence of tooth geometry, periodontal ligament (PDL) thickness, PDL material behavior (linear elastic vs. hyperelastic), and clinical attachment loss (CAL) on the stresses in the bone under force application. A first right mandibular premolar (44) and a second right mandibular premolar (45) were used as antagonists in the finite element study. The teeth were inserted into maxillary and mandibular bone segments respectively.

Results: The method can be used to digitally generate a tooth based on a scanned crown. Preliminary results indicate that tooth morphology, PDL thickness, and CAL influence the minimum and maximum principal stresses in both the alveolar bone and the PDL. When the PDL is modeled as hyperelastic, bone stress magnitudes increase, compressive stresses within the PDL are higher, and tensile stresses in the PDL are nearly zero.

Discussion: This approach highlights the potential of automated computational design for dental treatment planning, substantially reducing manual intervention. It produces reproducible geometries across design variants and enables rapid exploration of tooth design alternatives. Integrating these technologies into clinical workflows could enhance patient-specific outcomes in restorative dentistry. Selecting an appropriate material model for the PDL is important, the material model strongly affects the forces in the PDL and in the bone.

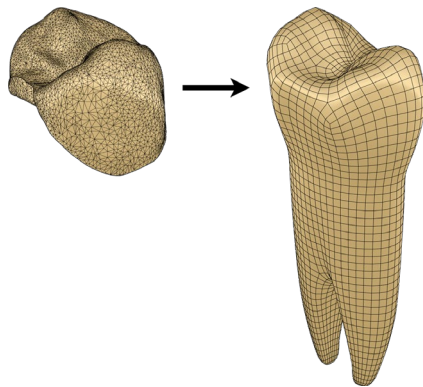


Fig. 1: A generated maxillary premolar (right), generated from a scanned natural crown (left).



VERDICHTUNG IM PERIPROTHETISCHEN KNOCHENBEREICH UND EINFLUSS AUF DAS FRAKTURRISIKO

Magdalena Willsch (1), Gerd Huber (1), Sara Checa (1)

1. Institut für Biomechanik, Technische Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland

Einleitung: Periprothetische Femurfrakturen sind schwerwiegende Komplikationen nach der Implantation von Hüftendoprothesen. Das Frakturrisiko steigt signifikant bei der Verwendung von Verdichtungsraspeln im Vergleich zu Extraktionsraspeln [1]. In-vitro Studien konnten die Verdichtung des periprothetischen Materials für beide Raspeltypen ermitteln [2]. Diese Verdichtung wird bei Finite-Elemente-(FE)-Modellen überwiegend vernachlässigt. Ziel dieser Studie ist es, den Einfluss trabekulärer Verdichtung auf das Frakturrisiko mithilfe numerischer Simulationen zu untersuchen.

Methoden: Es wurde ein FE-Modell eines vereinfachten Knochens mit jeweils homogenen Materialeigenschaften für trabekulären und kortikalen Knochen erstellt (Abaqus, v2024, Dassault Systèmes). In dieses Modell wurde ein starres Implantat eingefügt, das anschließend axial kontrolliert in den Knochen verschoben wurde. Dem trabekulären Knochen wurde zusätzlich zu den linear-elastischen Eigenschaften das Materialmodell *Crushable Foam* zugewiesen. Innerhalb eines Abstands von 2 mm zum Implantat wurde die Verdichtung über eine Variation in den Materialeigenschaften modelliert. Dazu wurden zwei Ansätze separat voneinander untersucht: eine Reduktion des Elastizitätsmoduls (E-Moduls) zur Abbildung der durch Trabekelzerstörung bedingten Materialschwächung [3], sowie eine initiale Verfestigung durch eine vorgegebene plastische Dehnung, die wiederum die Streckgrenze beeinflusst.

Ergebnisse: Mit zunehmender Reduktion des E-Moduls kann ein Anstieg der Dehnung in tangentialer Richtung im kortikalen Bereich von bis zu 6,5 % beobachtet werden (ab einer Reduktion auf 70%; Abb. 1). Auch eine höhere initiale Verfestigung zeigt eine erhöhte tangential Dehnung (bis zu 7,7 %; 3,5 % bei vollständiger Verfestigung) im Vergleich zum Referenzmodell (Abb. 1).

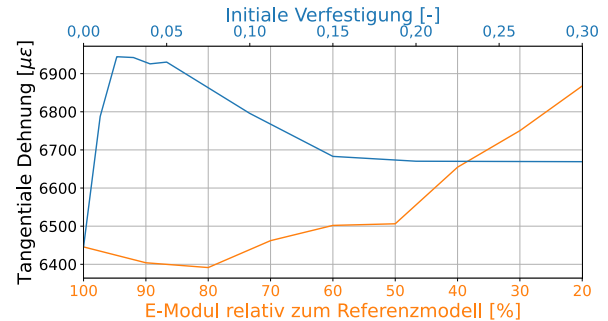


Abb. 1: Änderung der tangentialen Dehnung im kortikalen Bereich in Abhängigkeit von E-Modul und initialer Verfestigung

Diskussion: Die Zunahme der tangentialen Dehnungen im kortikalen Bereich deuten auf ein erhöhtes Frakturrisiko hin. Dies korrespondiert mit klinischen Beobachtungen, wonach eine höhere Verdichtung im periprothetischen Bereich durch die Anwendung von Verdichtungsraspeln mit einem gesteigerten Frakturrisiko einhergeht [1]. Für zukünftige Untersuchungen ist geplant, die genauen Verdichtungsparameter auf Basis von Computertomographie-Daten zu ermitteln. Darüber hinaus soll eine Kombination beider Parameter berücksichtigt werden. Die Ansätze bieten damit das Potenzial, den Zusammenhang zwischen trabekulärer Verdichtung und Frakturrisiko zu quantifizieren und verschiedene Raspeln numerisch zu vergleichen, ohne den Raspelprozess direkt abzubilden.

Referenzen

1. Høvik et al, Acta Orthopaedica, 95:492-497, 2024.
2. Bätz et al, J Orthop Res, 37:1580-1589, 2019.
3. Moore et al, J Biomech Eng, 125:761-768, 2003.



ALTERSBEDINGTE VERÄNDERUNGEN DER SPINALEN LASTVERTEILUNG: PRÄDIKTIVE SIMULATION AKTIVER WIRBELSÄULENBEWEGUNGEN

Maria Hammer (1), Patrick Strube (1), Matthias Woiczinski (1)

1. Experimentelle Orthopädie, Universitätsklinikum Jena, Campus Eisenberg,
Waldkliniken Eisenberg, 07607 Eisenberg, Deutschland

Einleitung: Altersbedingte Veränderungen der Wirbelsäule führen häufig zu Instabilität, veränderten Bewegungsmustern und degenerativen Erkrankungen, deren mechanische Ursachen nur teilweise verstanden sind. Gleichzeitig zeigen operative Eingriffe im höheren Lebensalter begrenzte Erfolgsraten bei Revisionsraten von bis zu 30%. Biomechanische Simulationsmodelle könnten die präoperative Planung unterstützen, bilden jedoch die komplexen, altersabhängigen Lastverteilungen bislang nur eingeschränkt ab – insbesondere bei alltäglichen, dynamischen Bewegungen. Ziel dieser Studie ist daher der Aufbau eines detaillierten Wirbelsäulenmodells mit altersangepassten mechanischen Eigenschaften zur Quantifizierung altersbedingter Veränderungen in der spinalen Lastverteilung mithilfe von prädiktiven, muskelgetriebenen Simulationen.

Methoden: Ein populationsbasiertes Mehrkörpermodell eines gesunden, jungen Mannes mit voll artikulierter Wirbelsäule sowie detaillierter Muskulatur und Bandstrukturen wurde aufbauend auf [1,2] weiterentwickelt (siehe Fig 1). Altersbedingte biomechanische Veränderungen in Bandscheiben, Bändern, Muskeln und Facettengelenken wurden anhand von Literaturdaten implementiert, indem Weichgewebssteifigkeiten, Muskelquerschnitte, Vorspannungen und andere geometrische und mechanische Parameter an ein biologisches Alter von 60 Jahren angepasst wurden.

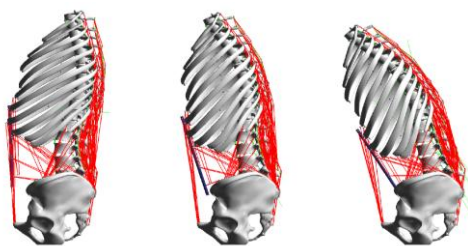


Fig. 1: Prädiktive, muskelgetriebene Simulation einer Vorwärtsflexion.

Unter Variation spinopelviner Parameter wurden vier anatomische Variationen abgeleitet. Für jedes Modell wurden die Muskel-, Band-, Bandscheiben- und Facettenkräfte in prädiktiven Simulationen [1] von Flexion-Extension, lateraler Flexion und axialer Rotation bestimmt und mit den Werten für junge Wirbelsäulenmodelle verglichen.

Ergebnisse: Die Ergebnisse zeigen mit zunehmendem Alter eine verringerte Flexionssteifigkeit der lumbalen Segmente und eine erhöhte Instabilität im aufrechten Stand, verstärkt durch Muskelatrophie. Im Vergleich zu jungen Wirbelsäulen treten deutliche Verschiebungen in der Lastverteilung zwischen den einzelnen Strukturen auf: reduzierte Bandzugkräfte und erhöhte Bandscheibenbelastungen bei aktiver Vorwärtsbeugung sowie erhöhte Facettengelenkkräfte insbesondere bei Lateralflexionen. Die Ausprägung und Lokalisation dieser Effekte variiert maßgeblich mit der individuellen Wirbelsäulenform.

Diskussion: Die Simulationsergebnisse stimmen mit experimentellen und klinischen Befunden überein und ermöglichen ein vertieftes Verständnis des biomechanischen Zusammenspiels zwischen Weichgewebe und Knochen in gealterten Wirbelsäulen unter alltagsrelevanten Bewegungen. Die ausgeprägte Abhängigkeit der Lastverteilung von spinopelvinen Parametern zeigt die Relevanz einer patientenspezifischen Betrachtung. Damit könnten prädiktive Simulationen zukünftig zur Identifikation individueller mechanischer Risikofaktoren und Unterstützung der Therapieentscheidung bei Schmerzpatienten beitragen.

Referenzen

1. Meszaros-Beller et al., BMMB, 22(2):669-694, 2023
2. Hammer et al., DaRUS, 2022.
<https://doi.org/10.18419/DARUS-2814>



SIMPLIFIED BONE-SCREW INTERFACE AFFECTS MICROMOTION OF ACETABULAR CUPS PRIMARILY WITHIN THE STABLE REGION: A NUMERICAL STUDY

Jérôme Schlatter (1), Gerd Huber (1), Sara Checa (1)

1. Institute of Biomechanics, Hamburg University of Technology, Hamburg, Germany

Introduction: The contribution of additional screw fixation to the primary stability of acetabular cups remains a subject of debate [1]. Previous computational studies assessing cup micromotion have employed simplified bone-screw contact definitions and limited loading conditions, often acknowledging these simplifications as limitations that may overestimate the screw's stabilizing effect [2]. This study investigates the sensitivity of acetabular cup micromotion to variations in bone-screw interface modeling under comprehensive physiological loading.

Methods: A finite element model of a hemipelvis implanted with an acetabular cup was generated from computed tomography data of a representative human cadaveric specimen (Simpleware, v2025, Synopsys) and combined with computer-aided design models of a 58 mm sector cup and a 6.5 mm cancellous bone screw (PINNACLE Hip Solutions, DePuy Synthes). Physiological hip joint contact forces and frictional moments derived from in vivo data were applied to simulate a full gait cycle [3]. Two bone-screw interface definitions were compared (Abaqus, v2024, Dassault Systèmes): (1) a detailed model including explicit screw geometry and frictional contact, and (2) a simplified model assuming fully bonded contact. Micromotion was quantified at each cup node of the bone-cup interface as the node's displacement relative to the nearest bone node.

Results: The median micromotion over the entire gait cycle was 6.4% higher in the detailed model (15.8 μm) compared to the simplified one (14.9 μm). The greatest deviation was observed during the pre-swing phase, where the median was 12.0% higher in the detailed model, 12.7 μm vs. 11.4 μm (Fig. 1). Further analysis showed that these differences were mostly localized near the placed screw (Fig. 2).

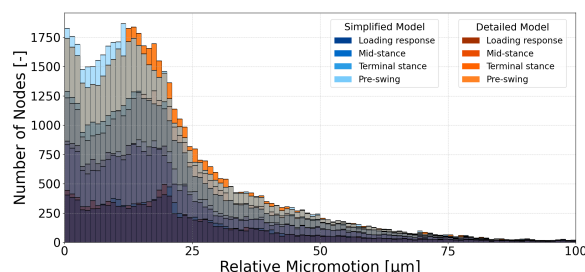


Fig. 1: Relative micromotion for four gait phases, stacked per model and overlaid between models.

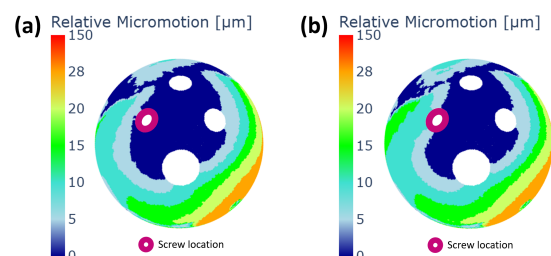


Fig. 2: Relative micromotion during the pre-swing phase for (a) simplified and (b) detailed model, screw location marked in magenta.

Discussion: Detailed modeling of the bone-screw interface resulted in an increase in micromotion, yet this was predominantly confined to values below 28 μm , a threshold commonly associated with stable fixation [4]. These findings indicate that, for this load case, simplified bone-screw interface definitions provide a valid approximation for assessing acetabular cup micromotion. Future work should evaluate the influence of screw preload and cup press-fit on these outcomes.

Notes: The authors acknowledge DePuy Synthes for providing the implant geometries.

References

1. Miura et al, Medicina, 58:1058, 2022.
2. Bologna et al, J Biomech Eng, 147:051007, 2025.
3. Bergmann et al, PLoS One, 11:e0155612, 2016.
4. Pilliar et al, Clin Orthop Relat Res, 208:108-113, 1986.



COMPUTATIONAL DESIGN AND PLACEMENT OF BRAIDED CONTOUR DEVICES WITHIN BRAIN ANEURYSMS

Ratnadeep Pramanik (1)

1. Institute for Mathematics and Computer-Aided Simulation, University of the Bundeswehr Munich, Neubiberg, Germany

Introduction: Brain aneurysms are outbulges of brain arterial vessels that are prevalent in about 3% of the adult population [1, 2]. However, accurate *in silico* deployment of braided, interwoven Contour endovascular devices inside deformable, patient-specific aneurysms is challenged by how the device-device and device-wall interactions are modelled [3, 4]. Over-constraining via kinematic coupling often produces unrealistically stiff behaviour and poor crimping/deployment fidelity. **Aim:** to develop a computational framework that (i) generates physically faithful parametric wire geometries and (ii) resolves true frictional contact-both inter-filament and device-wall, to improve predictive placement and stability after release.

Methods: We build a parametric braided geometry and mesh wires as geometrically nonlinear beam elements. Contact is enforced with a penalty-based sliding friction. Patient-specific aneurysm sacs with deformable walls are reconstructed from imaging, and deployment is simulated via catheter crimping, delivery, and constrained release. Our robust finite element model readouts include expansion dynamics, final apposition, and post-release positional stability.

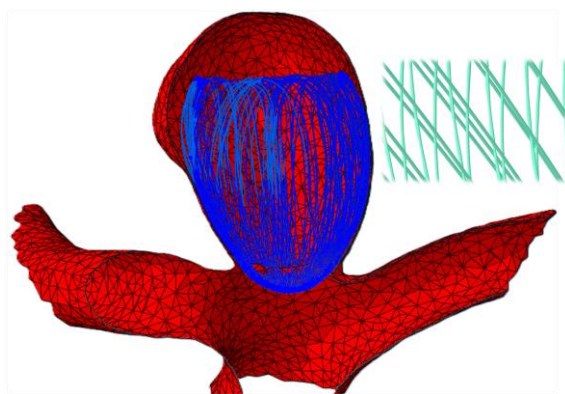


Fig. 1: Braided contour device within deformable patient-specific brain aneurysm sac

Results: Across parameter sweeps, friction consistently emerged as the dominant factor, after material properties, in governing (i) expansion kinetics and final diameter, (ii) anti-slippage anchoring against the aneurysm wall, and (iii) robustness to boundary-condition release. Neglecting or under-estimating friction produced over-expansion, sliding at wire crossings, and drift in final placement; conversely, realistic friction stabilized the construct (see Fig. 1) without artificially stiffening it via kinematic ties.

Discussion: Explicit frictional contact between filaments and at the device-wall interface is essential to capture crimping, deployment, and post-release behaviour of braided Contour devices. The framework supports rational design (e.g., braid angle, wire diameter) and calibration of friction parameters from phantom experiments, thereby significantly improving clinical relevance while maintaining computational tractability.

Notes: This research was supported by the IDIR-Project (Digital Implant Research), a cooperation financed by Kiel University, University Hospital Schleswig-Holstein and Helmholtz Zentrum Hereon. No conflicts of interest declared. We thank our clinical collaborators for access to de-identified patient and phantom models.

References

1. Brisman et al., The New England Journal of Medicine 355, 9:928-939, 2006.
2. Pravdivtseva et al., Interventional Neuroradiology 31, 1:49-56, 2023.
3. Frank et al., GAMM-Mitteilungen, 47, 3:e202370007, 2024.
4. Korte et al., Computers in Biology and Medicine, 197: 111002, 2025.



COMPUTATIONAL PREDICTION OF ELASTIC PROPERTIES IN BUCKYBALL MICROSCAFFOLDS

Ajay Kumar (1), Valentina Kumbolder (1), Rathina Vel Balasubramanian (2), Julia Fernandez (2), Aleksandr Ovsianikov (2), Christian Hellmich (1), Stefan Scheiner (1)

1. Institute for Mechanics of Materials and Structures, Technische Universität Wien (TU Wien), Austria;
2. 3D Printing and Biofabrication Group, Institute of Materials Science and Technology, Technische Universität Wien (TU Wien), Austria

Introduction: Tissue engineering and regenerative medicine is rapidly advancing, with scaffolded spheroids emerging as critical building blocks for regenerating damaged tissues [1]. The mechanical properties of the microscaffolds are of paramount importance for ensuring applicability.

This study focuses on assessing the elastic behavior of a specific type of microscaffold: truncated icosahedron-shaped structures, commonly known as "buckyballs". Specifically, the buckyballs under investigation are made of a PCL-based resin, with cross-linkable gelatins also considered for comparison. We present numerical modeling approaches to predict the elastic deformation characteristics of both individual buckyballs and buckyball assemblies.

Methods: For single buckyballs, we developed a Finite Element (FE) model, subjected to uniaxial compression. The cross sections of the buckyball struts were varied, considering both circular and elliptical shapes, to account for the effects of deviations from the (ideal) circular shape. The obtained load-displacement curves were compared to corresponding experimental data.

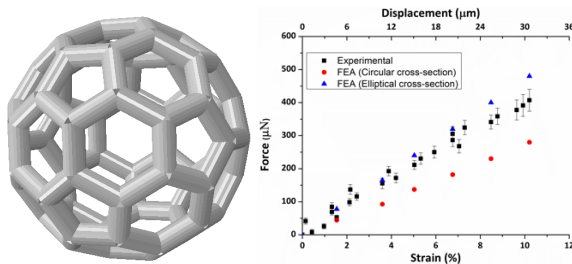


Fig. 1: Example of investigated FE model of microscaffold structure, featuring circular strut cross sections (left); comparison between model predictions and experimental data (right).

To study the mechanical behavior of buckyball assemblies, we employed a FE analysis-based periodic homogenization approach [2]. This involved analyzing a representative unit cell, subjected to specific strain states. The resulting deformations were used to determine the stiffness tensor of the overall assembly.

Results: As for the single buckyball studies, the computationally obtained load-displacement curves were compared with experimental results, validating the approach, see Fig. 1. Furthermore, the periodic buckyball assemblies revealed a strong dependance of the overall stiffness on both the cross-sectional diameter and the edge length of the struts. Interestingly, the overall stiffness of the buckyballs assemblies turned out to be more than 10 times stiffer than single buckyballs.

Discussion: Computational modeling proved to be a useful strategy for assessing the mechanical properties of buckyball-shaped microscaffolds. While single buckyballs can be tested experimentally, experimental data on the structural stiffness of buckyball assemblies do not exist, which makes the presented method a valuable tool for designing these delicate structures.

References

1. Ovsianikov et al, Acta Biomater, 36:348-357, 2018.
2. Kumbolder, PhD thesis, TU Wien, 2020.

Acknowledgements: This work was supported by the Austrian Science Fund (FWF), through the project DiskedInj (Grant DOI: 10.55776/I6356).



IMPACT OF INTEGRIN ALPHA1BETA1, ALPHA2BETA1 UND ALPHA11BETA1 DEFICIENCY ON BONE PROPERTIES IN MICE

Davin Kumpf (1,2), Miriam Weyers (1), Maren Dreiner (1), Yvonne Sponer (1), Daniela Mählich (1) Beate Eckes (3), Anja Niehoff (1,2)

1. Institute of Biomechanics and Orthopedics, German Sport University Cologne, Cologne, Germany; 2. Cologne Center for Musculoskeletal Biomechanics, Medical Faculty, University of Cologne, Cologne, Germany; 3. Translational Matrix Biology, Medical Faculty, University of Cologne, Cologne, Germany

Introduction: Integrins are a group of transmembrane proteins which provide communication between the extracellular matrix (ECM) and the cells of a tissue. They translate mechanical forces into chemical signals. The integrins $\alpha1\beta1$, $\alpha2\beta1$ and $\alpha11\beta2$ bind to collagen type I and coordinate the interaction between bone cells and the ECM [1]. The single- or double-knockout of the $\beta1$ subunit or integrins $\alpha2\beta1$ and $\alpha11\beta1$ resulted in worsened bone architecture, severe low bone mass as well as a systemic dwarfism [2, 3]. Our aim was to determine the impact of the removal of the $\alpha1$ subunit on the structural and mechanical properties of femoral bone in mice.

Methods: Male and female wildtype C57BL/6N (WT) (N = 9) and triple-knockout (TKO) (N = 6) [4] mice were sacrificed at 12 months of age. Structural properties of femora were analyzed using the μ CT35 scanner (SCANCO). Trabecular parameters included bone volume fraction (BV/TV, %), trabecular thickness (Tb.Th, mm), trabecular number (Tb.N, 1/mm), trabecular separation (Tb.Sp, mm), and connectivity density (Conn.D, 1/mm³). At the diaphysis, cortical area (Ct.Ar, mm²), tissue area (Tt.Ar, mm²), cortical area fraction (Ct.Ar/Tt.Ar, %), cortical thickness (Ct.Th, mm), and marrow area (Ma.Ar, mm²) were assessed. Subsequently, femora were subjected to 3-point bending test using a material testing machine (Zwick). Breaking force (N) and deformation (mm), stiffness (N/mm), and energy (mJ) were measured from the load-deformation curve. Ultimate stress (MPa) and strain, elastic modulus (MPa), as well as energy density (mJ/mm³) were calculated based on the area moments of inertia obtained from microCT measurements. Data were analyzed using

GraphPad Prism 10 (GraphPad Software). Differences between WT and TKO mice were assessed by Mann-Whitney-U-Test with $p < 0.05$.

Results: The femora of the TKO mice were significantly (- 4,1%, $p < 0.05$) shorter and the Tt.Ar of the bones was significantly (- 14%, $p < 0.05$) reduced compared to the WT mice. In addition, the TKO mice had significantly (- 6,7%, $p < 0.05$) reduced Ct.Th and Ct.Ar (- 14%, $p < 0.05$), as well as significantly (- 14%, $p < 0.05$) lower Ma.Ar compared to the WT mice. In contrast, we could not detect any significant differences in trabecular bone structural properties between TKO and WT mice. The maximal breaking force was significantly (- 18%, $p < 0.05$), reduced, while the maximal strain stress was significantly increased (+ 27%, $p < 0.05$) in the TKO compared to the WT mice.

Discussion:

The triple deficiency of the integrins $\alpha1\beta1$, $\alpha2\beta1$ and $\alpha11\beta1$ had a negative effect on both the structural as well as mechanical bone properties of mouse femora. Previous double knockout studies of integrins $\alpha2\beta1$ and $\alpha11\beta1$ resulted in similar changes in one- and three-months old mice [3]. The bone phenotype in response to the additional removal of the $\alpha1$ subunit differed slightly from that observed in the single- or double-knockouts of the $\beta1$ subunit or integrins $\alpha2\beta1$ and $\alpha11\beta1$. In future analyses, histological and immunohistochemical staining will be conducted in order to examine underlying mechanisms.

References

[1] Yang et al, J Cell Mol Med, 28(7), 2024 [2] Qin et al, J. Orthop Translat, 34:60-72, 2022 [3] Blumbach et al, J Biol Chem., 287(9):6431-40, 2012 [4] Sawant et al, Ann Rheum Dis., 82(11):1474-1486, 2023

DGfB
2026
18.-20. März, Hamburg



BIOMECHANICAL COMPARISON OF INNOVATIVE SUTURE TECHNIQUES FOR SURGICAL TREATMENT OF ACHILLES TENDON RUPTURE IN A PORCINE MODEL

Lasse Weigand (1), Benjamin Liebrand (1), Rainer Meffert (1) and Stefanie Hölscher-Doht (1)

1. Department for Trauma, Hand, Plastic and Reconstructive Surgery, University Hospital Würzburg

Introduction: In recent years, evidence-based progressive rehabilitation protocols following the surgical treatment of Achilles tendon rupture have been shown to be safe and probably superior to more restrictive treatment regimens [1]. In order to allow this in postoperative rehabilitation, a biomechanically stable surgical treatment must be ensured. The aim of this study was to compare the classic Bunnell technique with its combination with pretension [2] as well as with the percutaneous Arthrex PARS System [3] in regard to their biomechanical stability.

Methods: We analysed four different suture techniques using porcine deep flexor tendons as a common biomechanical model for human Achilles tendons. The tendons were harvested, prepared and sutured according to their respective group (A: Bunnell, B: Bunnell + pretension, C: PARS-to-PARS, D: PARS + anchor). The four groups (n=12) underwent progressive cyclic loading via axial tension in the biomechanical testing machine (ZwickRoell Z020) (Fig. 1a-f).

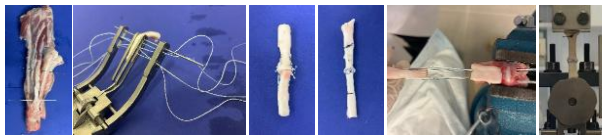


Fig. 1a-f: preparation and biomechanical testing

Results: Group C (PARS-to-PARS) showed the highest maximum force until failure, resisting statistically significant higher loads compared to both group A (Bunnell) and B (Bunnell + pretension). Pretension led to a non-significant increase in maximum force in the Bunnell groups. Group D (PARS + anchor) consistently resisted statistically significant higher forces in comparison to all of the other groups (Fig. 2). This was generally valid for the number of cycles necessary to reach the initial gap, the 5 mm gap and the point of failure, too.

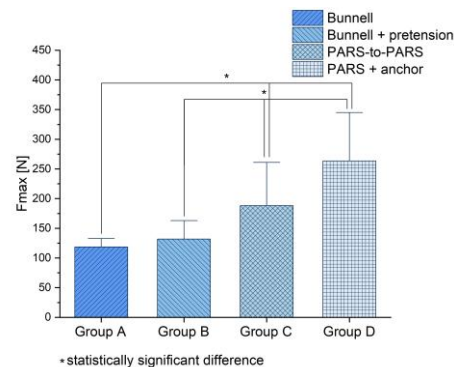


Fig. 2: Maximum tensile force at failure

Discussion: Considering the superiority over both Bunnell techniques in this experimental model despite its limitations in transferability, using the PARS-to-PARS technique seems to be a valid alternative for suturing ruptured Achilles tendons. Resisting higher forces may allow for more and earlier weight bearing with a lower risk of re-rupture, subsequently leading to better rehabilitation outcomes. The PARS technique might provide an approach that potentially offers better protection against re-ruptures while maintaining the general advantages of more minimally invasive solutions like lower wound infection rates [4]. Using suture anchors increases the stress resistance of this system even more. Applying pretension can improve the stress resistance of a traditional technique like the Bunnell method, so surgeons should consider this adaptation for open approaches.

Notes: There are no conflicts of interest

References:

1. Massen et al, EFORT open reviews, 7(10), 680–691, 2022
2. Jordan et al, Journal of orthopaedic surgery and research, 10, 192, 2015
3. Hsu et al, Foot & ankle international, 36(11), 1279–1286, 2015
4. Meulenkamp et al, Clinical orthopaedics and related research, 479(10), 2119–2131, 2021



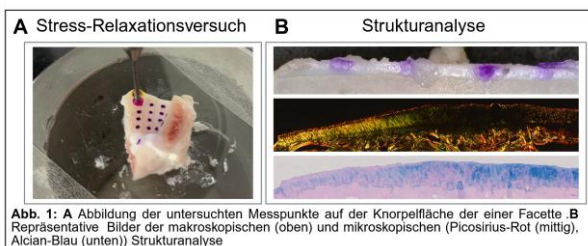
STRUKTUR-FUNKTIONS-BEZIEHUNGEN IM FACETTENGELENKSKNORPEL

Luisa de Roy, Ann-Kathrin Greiner-Perth, Andreas Martin Seitz, Graciosa Quelhas Teixeira,
Hans-Joachim Wilke, Christian Liebsch

Institut für Unfallchirurgische Forschung und Biomechanik, Universitätsklinikum Ulm, Deutschland

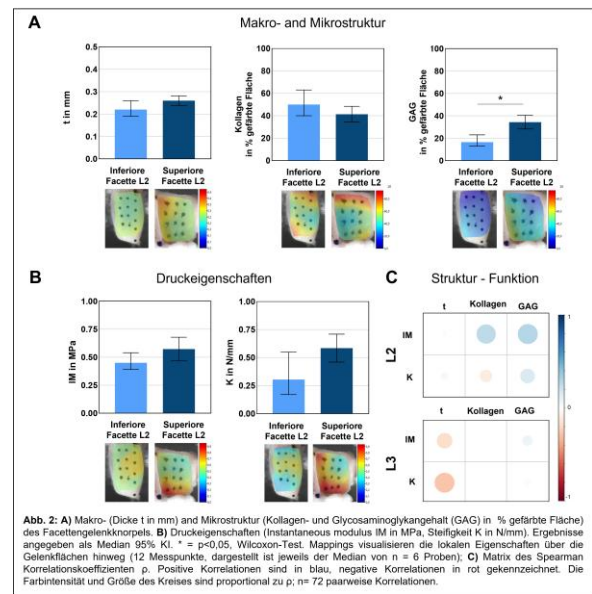
Einleitung: Facettengelenke sind häufig von degenerativen Veränderungen betroffen und aufgrund ihrer starken Innervation eine potenzielle Ursache für Rückenschmerzen [1,2]. Bisher ist jedoch unklar, ob die inferiore oder die superiore Facettengelenksfläche anfälliger für Erkrankungen ist [2]. Da die Funktionalität des Knorpels eng mit seiner Struktur und seinen biomechanischen Eigenschaften verknüpft ist, war das Ziel dieser Studie, die Druckeigenschaften und die Zusammensetzung der Knorpeloberflächen der Facettengelenke zu charakterisieren.

Methoden: An $n=6$ makroskopisch intakten ovinen Facettengelenken (L2-L3) wurden Spannungs-Relaxations-Tests an jeweils 12 Messpunkten pro Gelenkfläche durchgeführt (Indentationstiefe: 0,08 mm, Relaxationszeit: 20 s). Der Instantaneous Modulus IM (in MPa) wurde als Maß für die Elastizität und die Steifigkeit K (in N/mm) als Maß für die viskosen Eigenschaften ausgewertet. Die Knorpeldicke t (in mm) wurde mittels Nadelpenetrationsmethode bestimmt. Anhand von Picosirius-Rot- bzw. Alcian-Blau-Färbungen wurde an jedem Messpunkt der Kollagen- und Glykosaminoglykangehalt (GAG) (Anteil gefärbte Fläche in %) bestimmt. Unterschiede wurden mittels nicht-parametrischer Tests untersucht (* $p < 0,05$)



Ergebnisse: L2 und L3 zeigten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$), mit Ausnahme des GAG-Gehalts, welcher für L3 signifikant höher war ($p < 0,001$; +107 %). Bei L2 wurden moderate Korrelationen zwischen IM und Kollagengehalt

($p = 0,388$) sowie zwischen IM und GAG-Gehalt ($p = 0,288$) ermittelt. Bei L3 nahmen IM ($p = -0,172$) und K ($p = -0,276$) mit zunehmender Knorpeldicke t tendenziell ab.



Diskussion: Im L2-Knorpel war ein höherer Kollagen- und GAG-Gehalt mit einer größeren Widerstandsfähigkeit gegenüber Druckbelastung verbunden. Diese Beziehung könnte von Bedeutung sein, da eine Degeneration durch die Zerstörung des Kollagennetzwerks und den Verlust von GAG gekennzeichnet ist. Somit könnten die Daten darauf hindeuten, dass der Knorpel der inferioren Facettengelenksfläche anfälliger für degenerative Veränderungen ist. Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen der Struktur-Funktions-Beziehungen an gesunden und degenerierten humanen Facettengelenken.

Literatur

1. Tischer et al, Eur. Spine J., 15:308-315, 2006
2. O'Leary et al, Annu Rev Biomed Eng, 20:145-170, 2018
3. Saarakkala et al, Osteoarthr. Cartil, 18:73-81, 2010



UNIAXIALE ZUGPRÜFUNG VON SEHNEN UND LIGAMENTEN – EIN RINGVERSUCH

Benjamin Fischer (1,2), Luisa de Roy (3), Florian Metzner (1,2), Stefan Schröder (4), Andreas Seitz (3)

1. Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Medizinische Fakultät, Universität Leipzig, Deutschland; 2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Universitätsklinikum Leipzig, Deutschland; 3. Institut für Unfallchirurgische Forschung und Biomechanik, Zentrum für Traumaforschung Ulm (ZTF), Universitätsklinikum Ulm, Deutschland; 4. Sektion für Biomechanik und Implantatforschung, Klinik für Orthopädie, Universitätsklinikum Heidelberg AdÖR, Deutschland

Einleitung: Die uniaxiale Zugprüfung ist seit Jahrzehnten zur Charakterisierung von Prüfkörpern etabliert. Organische Materialien stellen jedoch besondere Anforderungen an die Prüftechnik. Standardklemmsysteme funktionieren oft nur eingeschränkt und liefern je nach Prüflabor Ergebnisse mit teilweise erheblichen Schwankungen. Im Rahmen dieses Ringversuchs wurden Proben zweier organischer Gewebe sowie ein Polymerproben typ als Vergleichsgruppe in verschiedenen Prüflaboren mit identischen Parametern getestet und die Ergebnisse verglichen.

Methoden: Sieben Forschungslabore aus Deutschland nahmen an diesem Ringversuch teil (Labor 1-7). Alle Labore untersuchten je 12 standardisierte Dogbone-Teflonzugproben (T), Proben der porcinen Patellasehne (P) und des porcinen Knieaußenbands (LCL). Es wurden 3D-gedruckte Einwegklemmen nach Scholz et al. [1] für die Probenfixierung genutzt. Beteiligte Institute verwendeten ihre eigenen 3D-Drucker, Druckeinstellungen und Prüfmaschinen. Es wurde eine einheitliche Prüfgeschwindigkeit von 20 mm/min vorgegeben. Teflonproben wurden ohne Präkonditionierung getestet, während die porcinen Gewebe einer Präkonditionierung (50 Zyklen) unterzogen wurden. Alle Proben wurden im uniaxialen Zugversuch bis zum Probenversagen gestreckt. Ausgewertet wurden die Maximallast (F_{max}) und der Elastizitätsmodul (E), wobei alle beteiligten Institute ihre Standard-Auswertesoftware nutzten.

Ergebnisse: Die ermittelten Parameter waren für die Teflonproben trotz identischer Probengeometrien und Prüfparameter sehr heterogen:

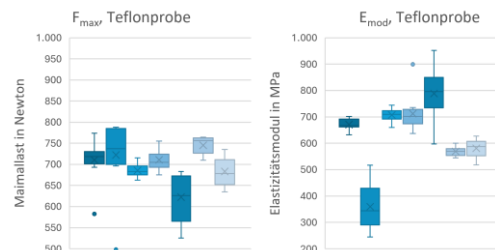


Abb. 1: F_{max} und E-Modul (Teflonprobe)

Über alle Labore hinweg wurden folgende Parameter der untersuchten Proben ermittelt:

Tab. 1: F_{max} und E-Modul (alle Proben; MW $\pm$ SD)

Probe	F_{max}/N	E/MPa
T	697,4 $\pm$ 56,0	628,9 $\pm$ 140,0
P	119,2 $\pm$ 114,1	92,3 $\pm$ 73,6
LCL	471,4 $\pm$ 332,7	159,7 $\pm$ 180,2

Diskussion: Trotz einheitlicher Prüfparameter und Probengeometrien zeigten sich laborspezifisch erhebliche Abweichungen in den ermittelten Maximallasten und Elastizitätsmodulen bei den standardisierten Teflonproben. Bei den organischen Proben war dieser Trend deutlich ausgeprägter. Ein Einfluss nicht-vereinheitlichter Parameter, wie z.B. der individuellen Anzugskraft der Klemmen, könnte hier ursächlich sein. Ebenso könnten unterschiedlichen 3D-Druckern sowie die verwendeten Auswertemethoden einen Einfluss haben. Die Studie verdeutlicht die Bedeutung standardisierter Materialprüfungen.

Hinweise: Die Arbeit entstammt aus dem Forschungsnetzwerk Muskuloskelettale Biomechanik (MSB-Net) der Sektion Grundlagenforschung (DGOU).

Literatur

1. Scholze, M. et al: 10.1038/s41598-018-29583-4



HYPERHYDRIERUNG UND KOMPLEXE MECHANISCHE BELASTUNG FÖRDERN DIE ENTSTEHUNG ZERVIKALER BANDSCHEIBENVORFÄLLE

Ann-Kathrin Greiner-Perth (1), Morten Vogt (1), Christian Liebsch (1), Hans-Joachim Wilke (1)

1. Institut für Unfallchirurgische Forschung und Biomechanik, Universitätsklinikum Ulm

Einleitung: Die Inzidenz von Bandscheibenvorfällen (BSV) bei Astronauten liegt bei 10 % [1]. Das Risiko für zervikale BSV ist dabei etwa 21-fach höher als bei der Allgemeinbevölkerung. Während für lumbale BSV die Hyperhydrierung der Bandscheibe (BS) infolge von Schwerelosigkeit und extremen Belastungen während des Weltraumflugs als Risikofaktoren gelten [2], sind die Ursachen zervikaler BSV bislang unbekannt. Ziel dieser Studie war daher, potenzielle Risikofaktoren für zervikale BSV, einschließlich Hyperhydrierung, komplexer Belastung und struktureller Defekte im Deckplatten-Anulus-Übergang zu untersuchen.

Methoden: 12 humane zervikale Bewegungssegmente (3 x C3-C4, 6 x C5-C6, 3 x C6-C7, 17-42 J., 2 w / 10 m) wurden getestet. Gruppe 1 (n=6) wurde für 24 h, Gruppe 2 (n=6) für 14 h unbelastet in destilliertem Wasser hydriert. Der intradiskale Druck (IDP) wurde mittels eines faseroptischen Sensors erfasst. In Gruppe 2 wurde ein posteriorer BS-Defekt zwischen kranialer Deckplatte und Anulus fibrosus gesetzt. Beide Gruppen wurden mit axialer Kompression von 100 N und kombinierter Flexion/Extension (FE), Seitneigung (SN) und axialer Rotation (AR) gemäß physiologischer Bewegungsumfänge (ROM) [3] für 3000 Zyklen (1 Hz) in einem dynamischen Bandscheibenbelastungssimulator [4] belastet. Vor und nach Hydrierung und komplexer Belastung wurde die ROM mittels reiner Momente von 2,5 Nm gemessen. Die statistische Analyse erfolgte mittels Wilcoxon-Test und Friedman-Test mit Bonferroni-Korrektur ($\alpha=0,05$).

Ergebnisse: In Gruppe 1 stieg der intrinsische IDP durch Hyperhydrierung um 400 % ($p < 0,05$), in Gruppe 2 um 243 % ($p < 0,05$). In beiden Gruppen wurde jeweils ein BSV mit posteriorer Extrusion des Nucleus pulposus in den Spinalkanal, lokalisiert paramedial an der kaudalen Wirbelkörperkante des kranialen Wirbels, bereits in den ersten

Belastungszyklen provoziert (Abb. 1). Die ROM nahm in beiden Gruppen nach komplexer Belastung im Vergleich zum hydrierten Zustand in allen Bewegungsrichtungen signifikant zu ($p < 0,05$) (Gr. 1: FE: +69 %, SN: +59 %, AR: +39 %; Gr. 2: FE: +36 %, SN: +56 %, AR: +31 %).

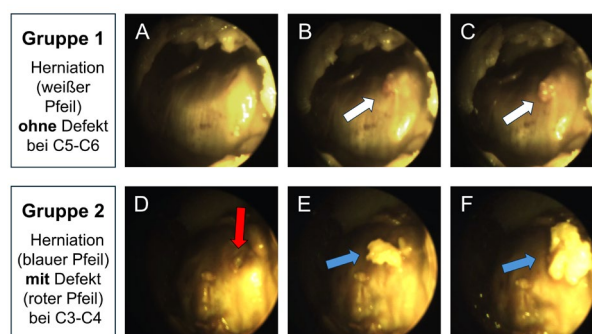


Abb. 1: Entwicklung zervikaler Bandscheibenvorfälle unter komplexer Belastung (serielle endoskopische posteriore Darstellung).

Diskussion: Hyperhydrierung sorgt für einen starken Anstieg des IDP, was zu einer erhöhten mechanischen Beanspruchung diskaler Strukturen führen kann. In Kombination mit komplexen Belastungsmustern stellt eine starke Hydrierung daher einen relevanten Risikofaktor für die Entstehung zervikaler BSV dar, wohingegen Defekte im Deckplatten-Anulus-Übergang das Risiko nicht zusätzlich erhöhen.

Hinweise: Förderung durch die Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG, WI1352/14-4) und die Deutsche Raumfahrtagentur (DLR e.V., 50WB2424D).

Referenzen

1. Johnston et al., Aviat Space Environ Med, 81:566-574, 2010.
2. Belavy et al., Eur Spine J, 25:144-154, 2016.
3. Anderst et al., J Biomech, 48:1286-93, 2015.
4. Wilke et al., Eur Spine J, 25:1363-1372, 2016.



GOING BEYOND THE DIAMETER CRITERION: A MULTIMODAL FRAMEWORK TO EVALUATE THE PREDICTIVE VALUE OF 4D-ULTRASOUND-BASED WALL MOTION INDICES FOR ABDOMINAL AORTIC ANEURYSM RUPTURE RISK STRATIFICATION

Manuel Schönborn^{1,3}, Achim Hegner^{1,3}, Wojciech Derwich², Kyriakos Oikonomou², Armin Huß¹, Antonio J. Gámez³, Andreas Wittek¹, and Christopher Blase¹.

1. Personalized Biomedical Engineering Laboratory, Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurt/Main, Germany; 2. Department of Cardiac and Vascular Surgery, University Hospital Frankfurt Goethe University, Frankfurt/Main, Germany; 3. Department of Mechanical Engineering and Industrial Design, School of Engineering, University of Cadiz, Cadiz, Spain

Introduction: Abdominal aortic aneurysm (AAA) is a degenerative vascular disease characterized by significant changes in the geometry and microstructure of the aortic wall. AAA particularly affects elderly men, with a prevalence ranging from 1.3% to 8.9% in men over 60. Rupture of the aneurysm wall is associated with a high mortality rate of up to 85% and often leads to death within minutes due to hypovolemic shock. Clinically, rupture risk is assessed using the maximum diameter criterion, which guides surgical decision-making. While statistically validated, this criterion lacks precision as it fails to account for patient-specific variations in aortic wall strength and local stress concentrations. The need for more patient-specific biomarkers is therefore widely acknowledged. It is hypothesized that wall motion indices (WMI), derived from 4D ultrasound (4D-US)-based local strain measurements, can provide a more accurate assessment of patient-specific rupture risk by capturing aortic wall kinematics.

Methods: Preoperative data from 9 AAA patients were collected, including 4D-US strain imaging, CT angiography, maximum diameter, and blood pressure. Patients underwent open surgical repair, during which tissue samples were harvested for mechanical testing. WMI, describing the distribution of the aortic wall's strain field, were computed from 4D-US strain data. The analysis focused specifically on wall regions corresponding to the locations from which tissue samples were obtained during surgery. These indices were correlated with a novel experimental rupture potential (NERP), calculated as the ratio between in vivo wall tension (derived from Finite Element

Analysis based on CT-A and mean arterial pressure) and the experimental failure tension determined via uniaxial tensile tests on the harvested tissue specimen (see Fig.).

Results: Several WMI demonstrated significant correlations with NERP ($r > 0.7$, $p < 0.05$), particularly indices describing heterogeneous strain distributions within the aneurysmal wall. These WMI also correlated significantly with the experimental failure tension determined from uniaxial testing of the tissue samples ($r < -0.7$, $p < 0.05$). Conversely, no significant correlation was found between maximum diameter and NERP.

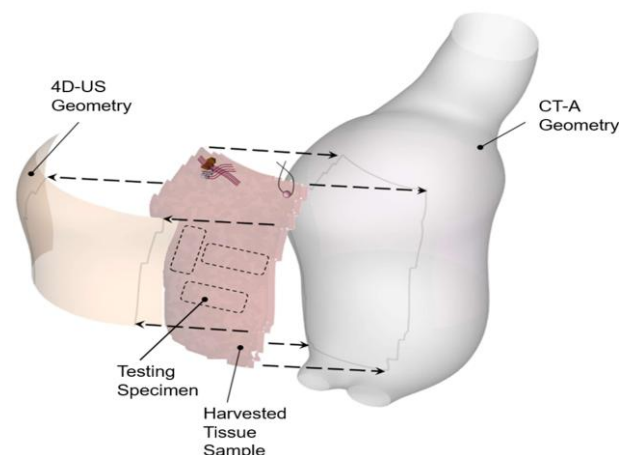


Fig: Multimodal framework to correlate data from different sources corresponding to same region.

Discussion: This study indicates that 4D-US-derived WMI can provide patient-specific information about the structural integrity of AAAs beyond the diameter criterion, enhancing the hypothesis of the potential using kinematics-based biomarkers for AAA rupture risk stratification.



VOM KLINISCHEN CT ZU MIKRO-CT – EINE SKALENÜBERGREIFENDE KNOCHENUNTERSUCHUNG

Florian Metzner (1), Luisa de Roy (2), Graciosa Teixeira (2), Anja Niehoff (3), Andreas Seitz (2)

1. Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Medizinische Fakultät, Universität Leipzig, Leipzig;
2. Institut für Unfallchirurgische Forschung und Biomechanik, Universitätsklinikum Ulm, Ulm;
3. Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln

Einleitung: Quantitative Computertomographie (qCT) erlaubt die räumliche Erfassung der Knochenqualität durch die Quantifizierung der Grauwerte auf beigelegte Mineralphantome. Die klinisch genutzte Auflösung erlaubt allerdings keine Analyse der Trabekelarchitektur, im Gegensatz zu Mikro-Computertomographie (μ CT). Daher war das Ziel der Arbeit 1) der Vergleich von strukturellen Parametern aus qCT und μ CT sowie 2) deren Gegenüberstellung mit den mechanischen Eigenschaften humaner Spongiosa.

Methode: Es wurden 30 Proben aus Lumbalwirbeln von 6 Spendern (87,3 $\pm$ 8,9 Jahre) untersucht. Die Präparate wurden am CT mit Knochenphantom gescannt und hinsichtlich ihres volumetrischen Mineralgehaltes (vBMD) quantifiziert. Die Entnahme der zylindrischen Proben erfolgte an definierten Positionen durch die Verwendung individueller 3D-gedruckter Bohrschablonen auf Basis der segmentierten Wirbel (s. Abb.1). Somit konnte für jede Probe der vBMD errechnet werden.



Abb. 1: Segmentierung (links), CAD-Entwurf (Mitte) und Probenentnahme (rechts)

Im Anschluss erfolgte das μ CT zur Erfassung der Strukturparameter sowie einachsige Druckversuche der Proben zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften (Modul E, Stauchgrenze $\sigma_{\max}$ und Plateauspannung σ_p). Für die Statistik wurden zweiseitige Spearman-Korrelation ($\alpha=0,01$) und lineare Regressionsanalysen angewendet.

Ergebnisse: vBMD aus qCT korreliert signifikant mit dem Knochenvolumengehalt BV/TV ($R^2=0,51$; $P<0,01$), Trabekelanzahl Tb.N ($R^2=0,43$; $P<0,01$) und der Konnektivität Conn.Dn. ($R^2=0,20$; $P<0,01$) aus dem μ CT. Darüber hinaus konnten signifikante Zusammenhänge zwischen den mechanischen Parametern sowohl für vBMD als auch für die Strukturparameter aus dem μ CT gefunden werden.

Tab. 1: Ergebnisse der Regressionsanalysen

		vBMD	BV/TV	Tb.N	Conn.Dn.
E	R^2	0.42	0.50	0.43	0.24
	P	<0.00*	<0.00*	<0.00*	<0.03*
$\sigma_{\max}$	R^2	0.57	0.77	0.66	0.34
	P	<0.00*	<0.00*	<0.00*	<0.01*
σ_p	R^2	0.50	0.77	0.66	0.36
	P	<0.00*	<0.00*	<0.00*	<0.00*

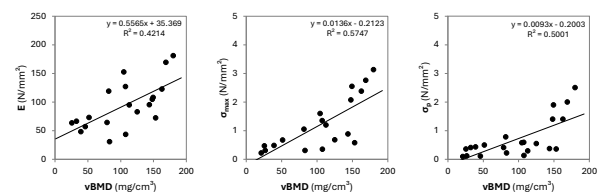


Abb. 2: Streudiagramme und lineare Regression zwischen vBMD und mechanischen Parametern

Diskussion: Neben der Diagnose von Osteoporose lassen sich durch qCT der Wirbelsäule tatsächliche mechanische Parameter ableiten (Abb. 2). Unsere Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit für eine breite Verwendung von Knochenphantomen im Rahmen geplanter CT-Bildgebung da auf diese Weise sowohl für die klinische- als auch die Grundlagenforschung wichtige Daten erfasst und Modelle abgeleitet werden können.

Notes: Die Arbeit entstammt aus dem Cluster Gewebebiomechanik des Forschungsnetzwerks Muskuloskelettale Biomechanik (MSB-Net) der Sektion Grundlagenforschung (DGOU).



μCT-ANALYSE DER KNOCHENMORPHOLOGIE: EINE VERGLEICHSTUDIE

Luisa de Roy (1), Maren Dreiner (2), Florian Metzner (3), Miriam Weyers (2), Anja Niehoff (2), Andreas Seitz (1)

1. Institut für Unfallchirurgische Forschung und Biomechanik, Universitätsklinikum Ulm, Ulm;
2. Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln; 3. Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Medizinische Fakultät, Universität Leipzig, Leipzig

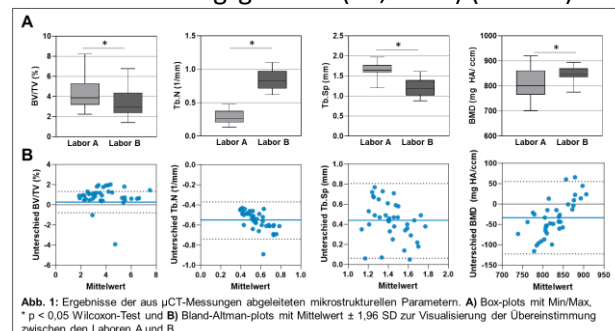
Einleitung: In der biomechanischen Forschung stellt die Mikro-Computertomographie (μCT) eine weitverbreitete Methode dar, denn sie erlaubt eine hochauflösende, dreidimensionale Analyse der Knochenarchitektur und -mineraldichte. Die Beurteilung struktureller Veränderungen ermöglicht Rückschlüsse auf die Funktionalität des Knochens. Ziel der Studie war es, die Übereinstimmung von mikrostrukturellen Parametern aus μCT-Messungen zwischen zwei verschiedenen Instituten zu bewerten.

Methoden: 40 trabekuläre Knochenzylinder (Ø8mm, Höhe 16 mm) wurden aus 30 humanen Lendenwirbelkörpern von 6 Körperspenden (87,3±8,9 Jahre) entnommen und in 4% Formaldehydlösung fixiert. μCT-Messungen derselben Proben wurden in zwei unabhängigen Instituten (Labor A und Labor B) mit den jeweils verfügbaren Geräten und Analyseverfahren durchgeführt (Tab 1). Aufgrund ihrer Relevanz für die biomechanische Forschung wurden folgende mikrostrukturelle Parameter ausgewertet: Knochenvolumenanteil (BV/TV: %), Trabekelanzahl (Tb.N: 1/mm), Trabekelabstand (Tb.Sp: mm), Mineraldichte des Knochens (BMD: mg HA/ccm). Unterschiede wurden mittels Wilcoxon-Tests untersucht (*: $p < 0,05$). Zur Beurteilung der Übereinstimmung der Messwerte zwischen den Laboren wurden Bland-Altman-Plots verwendet.

Tabelle 1: Übersicht über die in Labor A und Labor B verwendeten Systeme sowie die jeweils angewendeten Scaneinstellungen und Auswertetools

	Labor A	Labor B
μCT	Bruker Skyscan 1172	μCT 35 Scanco Medical
Kamera Pixelgröße (μm)	11,57	16
Röhrenspannung (kV)	49	70
Stromstärke (μA)	200	114
Filter	0,5 mm Al	0,5 mm Al
Phantom (mg HA/ccm)	250 und 750	99,5; 199,5; 400,0; 798,6
Auswertesoftware	CTAn	OpenVMS/DECwindows Motif
Thresholding	Automatisch	220
Kalibrierung der Mineraldichte	Basierend auf Phantom	Basierend auf Phantom

Ergebnisse: In Labor B wurden signifikant niedrigere BV/TV- ($p < 0,01$) sowie Tb.Sp-Werte ($p < 0,01$) gemessen als in Labor A (Abb 1A). Tb.N ($p < 0,01$) sowie BMD ($p < 0,01$) waren signifikant höher in Labor B im Vergleich zu Labor A. Wenige Differenzen lagen außerhalb der jeweiligen Übereinstimmungsgrenzen ($\pm 1,96$ SD) (Abb 1B).



Diskussion: Die mittels μCT quantifizierte Morphologie von trabekulären Wirbelknochen war abhängig von der verwendeten Methodik. Insbesondere bei der Trabekelanzahl wurden in Labor B 3-fach höhere Werte gemessen. Die Mehrheit der Differenzen beider Labore lagen in den Bland-Altman-Plots innerhalb der Übereinstimmungsgrenzen, allerdings ließen sich Trends der Differenzen erkennen. Die Ergebnisse lassen sich möglicherweise auf Unterschiede in den Scaneinstellungen (11,57 vs. 16 μm Pixelgröße) sowie Rekonstruktions- und Auswertealgorithmen zurückführen (automatisches vs. manuelles thresholding) [1]. Insgesamt bestätigen die Ergebnisse, dass μCT-Analysen vor allem für interne Gruppenvergleiche geeignet sind, während Literaturvergleiche nur eingeschränkt interpretierbar sind [1].

Literatur

Steiner et al. (2020), Comparison of different microCT-based morphology assessment tools using human trabecular bone, Bone Reports



DER TENDOCLIP – EINE NEUE TECHNIK ZUR TUBERKULA-REFIXATION BEI INVERSEN SCHULTERENDOPROTHESEN

Maximilian Uhler (1), Thilo Patzer (2), Jörg Fleischer (3), Jan Philippe Kretzer (1)

1. Sektion für Biomechanik und Implantatforschung, Universitätsklinikum Heidelberg, Deutschland;
2. Fachzentrum für Schulter, Ellenbogen und Sportorthopädie, Schön Klinik Düsseldorf, Deutschland;
3. Zentrum für Traumatologie und Orthopädie, Marienhaus Klinikum St. Wendel – Ottweiler, Deutschland;

Einleitung: Die Refixierung von Tuberkula-Fragmenten bei inversen Schulterendoprothesen führt zu einer deutlichen Funktionsverbesserung hinsichtlich Stabilität und aktiver Rotation. Die Tuberkula-Refixierung mit der klassischen 3D-Nahtcerclage ist jedoch zeitaufwendig und führt oft zu unzureichender Stabilität. Eine neue TendoClip-Technik mit verschraubbaren Titanclips soll eine einfachere und zeitsparende Refixierung der Tuberkula-Fragmente mit ausreichender Primärstabilität ermöglichen.

Methoden: Die vorliegende Studie untersuchte zwei verschiedene Refixationsverfahren zur Behandlung von 4-Fragment-Frakturen des proximalen Humerus. Zu diesem Zweck wurden 8 gepaarte humane Humeruspräparate mit inversen Schulterendoprothesen versorgt. Nach Randomisierung in zwei Behandlungsgruppen wurden die manuell erzeugten 4-Fragment-Frakturen nach Neer auf einer Seite mit konventionellen 3D-Nahtcerclagen refixiert (Abb.1 (B)). An der Gegenseite wurde die Fixierung der Tuberkel-Fragmente mit dem neuartigen TendoClip-Verfahren durchgeführt (Abb.1 (A)). Für den experimentellen Vergleich wurden beide Behandlungsgruppen einer zyklisch ansteigenden Belastung ausgesetzt. Die von einer einachsigen hydraulischen Materialprüfmaschine (MiniBionix 585, MTS Systems, Berlin, Deutschland) erzeugten Drehmomente wurden durch den Versuchsaufbau in Zugkräfte umgewandelt, die physiologisch über die an den Knochenfragmenten verbliebenen Sehnen der Rotatorenmanschette aufgebracht wurden. Die zyklisch ansteigende Belastung wurde bis zum Versagen der jeweiligen Fixierung aufgebracht. Während der Untersuchungen wurden die Relativbewegungen der einzelnen Bruchstücke zum Humerusschaft als Indikator für die Primärstabilität gemessen.

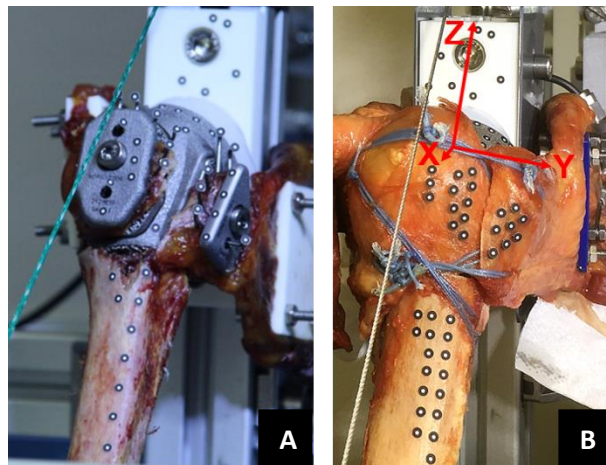


Abb. 1: Fixationsverfahren einer 4-Fragment-Frakturen. (A) TendoClip (B) Faden-Cerclage.

Ergebnisse: Die erzeugten Zugkräfte führten zu einem signifikanten Unterschied in der gemessenen Relativbewegungen zwischen der TendoClip- und der Cerclage-Gruppe. Fünf von acht Proben in der TendoClip-Gruppe konnten für mehr als 1000 Zyklen (zehn Belastungsstufen) belastet werden. In der Cerclage-Gruppe wurde dies nur bei einem Präparat erreicht. Die aufgezeichneten Versagensmechanismen zeigten, dass die fixierten Knochenfragmente des Cerclage-Verfahrens im Vergleich zum TendoClip-Verfahren signifikant häufiger von Lockerungen und sichtbaren Relativbewegungen betroffen waren. In 2 von 8 Fällen der TendoClip-Versorgung wurde ein Knochenfragment aus der Fixierung herausgerissen.

Diskussion: Das vorgestellte TendoClip-Verfahren stellt eine Alternative zu herkömmlichen Fixierungsverfahren bei multifragmentären proximalen Humerusfrakturen dar. Die Fixierung der Tuberkula-Fragmente kann deutlich verbessert werden. Es bedarf jedoch noch weiteren Verbesserungen, um die TendoClips sicher in den Einsatz bringen zu können.



BIOMECHANISCHE BELASTUNGSSZENARIEN ZUR UNTERSUCHUNG VON PEDIKELSCHRAUBEN: EIN VERGLEICH DER MESSMETHODEN ASTM VS. TOGGLING

Stefan Schleifenbaum (1,2), Lisa M. Tiesler (1,2), Florian Metzner (1,2), Philipp Pieroh (2), Christoph E. Heyde (1,2)

1. ZESBO – Zentrum zur Erforschung der Stütz- und Bewegungsorgane, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland; 2. Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland.

Einleitung: Die Verankerung von Pedikelschrauben ist essenziell für die Stabilität bei Wirbelsäulenoperationen. Dabei unterscheiden sich statische Pullout-Tests von dynamischen Belastungen, die im klinischen Alltag auftreten. Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich zweier dynamischer Lastfälle (ASTM F1717 und Toggling) unter realistischer, zyklischer Belastung und die Übertragbarkeit der Testergebnisse auf klinische Versagensfälle.

Methoden: Die beiden Lastfälle ASTM F1717 und Toggling wurden unter standardisierten Bedingungen mittels eines 6DoF-Sensors sowie an zwei verschiedenen Polyurethanschäumen getestet. Beide Lastfälle wurden an einem adaptierbaren Prüfaufbau untersucht, der sowohl die Aufnahme des 6DoF-Sensors als auch der PU-Schäume ermöglichte (Abbildung 1).

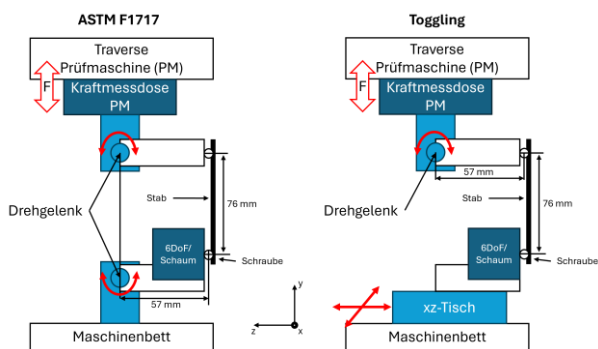


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Randbedingungen des ASTM F1717 und Toggling Versuchs

Der Versuchsablauf umfasste bei der 6DoF-Messung 15 Zyklen und bei der Schaumtestung 500 Zyklen mit einer Prüfgeschwindigkeit von 5 mm/s. Beide Lastfälle wurden unter zyklischer Kompression bei 10-110 N sowie unter wechselseitiger Belastung bei ± 110 N untersucht.

Ergebnisse: Die Messungen mit dem 6DoF-Sensor bestätigten die axial eingeleiteten Kräfte. Bei der ASTM F1717-Testung resultierten die Randbedingungen in beiden Belastungsrichtungen in einer signifikant höheren Kraft in z-Richtung und einem positiven Moment um die Rotationsachse (x-Achse) des Prüfstandes. Im Lastfall Toggling stellte bei beiden Belastungsrichtungen eine Verschiebung in z-Richtung sowie ein wechselseitiges Moment um die x-Achse des Prüfstandes ein. Ein Großteil der Schaumblöcke erreichte vor Ende der Messungen das Abbruchkriterium (Traversenweg ≥ 20 mm). Der Cellular Foam durchlief die ASTM-Testung in beiden Belastungsrichtungen vollständig, während beim Toggling unter Kompression 40 Zyklen und unter wechselseitiger Belastung 11 Zyklen abgeschlossen wurden.

Diskussion: Die Eliminierung der Probeneinflüsse mit Hilfe der 6DoF-Messung zeigte abhängig von den Randbedingungen beider Lastfälle nachvollziehbare Ergebnisse. Die isolierten Lastfälle ASTM F1717 und Toggling erfassen nicht die vollkommene Bandbreite physiologischer Belastungen. Dennoch sollte im Hinblick auf eine universelle Methode zur Testung von Pedikelschrauben an humanen Präparaten eine multiaxiale wechselseitige Lasteinleitung erfolgen. Zukünftig könnten universal Wirbelsäulensimulatoren eine Alternative zu den untersuchten isolierten Lastfällen sein.



LATERALE KLAVIKULAFRAKTUREN: REDUKTION DES CUT-OUTS DURCH GITTERANORDNUNG DER SCHRAUBEN IM LATERALEN FRAKTURFRAGMENT

Sophia Scheible(1), Rainer H. Meffert(2), Eva Kupczyk(3), Maximilian Heilig(4), Stefanie Hölscher-Doht(5)

1. – 5. Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-, Plastische und Wiederherstellungschirurgie, Uniklinikum Würzburg, Würzburg, Deutschland; 4. Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, BG Unfallklinik Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland.

Einleitung: Bei lateralen Klavikulafrakturen kann es aufgrund der hohen Kräfte, die bei Bewegungen im Alltag auf den Schultergürtel wirken, zu einem Cut-out der Schrauben aus dem lateralen Frakturfragment kommen [1]. Neue Plattendesigns ermöglichen es, zusätzliche, anteriore Schrauben zu setzen und ein coraco-claviculäres Banding vorzunehmen. Ziel dieser Studie war es, zu überprüfen, inwiefern die zusätzlichen Schrauben und das Banding einen biomechanischen Benefit auf die Frakturversorgung haben.

Methoden: An Kunstknochen wurden laterale Klavikulafrakturen vom Typ Neer 2b simuliert und in 4 Gruppen stabilisiert: In Gruppe A wurde eine laterale Klavikulaplatte mit 3 Schrauben im lateralen Frakturfragment fixiert. In Gruppe B wurde das laterale Fragment mit zusätzlich zwei Schrauben von anterior fixiert. In Gruppe C wurde die Fixierungsmethode der Gruppe B um ein corako-claviculäres Banding ergänzt (Fig.1). In Gruppe D wurde eine alternative Platte mit einer vergleichbaren Schraubenbefestigungsmethode verwendet. In einer Materialprüfmaschine wurden die Proben durch dynamische (3000 Zyklen von 100 N bis 450 N) und statische (Load-to-Failure) Tests belastet. Die Auslockerung der Schrauben aus dem lateralen Frakturfragment, die Auszugskräfte und die Steifigkeit wurden bestimmt.

Ergebnisse: Die Versagensmodi in allen 4 Gruppen über beide Testphasen sind in *Tabelle 1* dargestellt. Abbildung 1 zeigt den Versagensmodus des lateralen Cut-outs. Je mehr Fixierung des lateralen Fragmentes über zusätzliche anteriore Schrauben und ein CC-Banding (Gruppe C) erfolgt, desto mehr Proben standen die dynamische Testphase durch und desto eher trat ein Versagensmodus auf der medialen Plattenseite auf. Das höchste Displacement nach der dynamischen Testphase

wies Gruppe D ($15,28 \text{ mm} \pm 3,50 \text{ mm}$) im Vergleich zu Gruppe C ($11,82 \text{ mm} \pm 2,56 \text{ mm}$) auf ($p=0,02$).

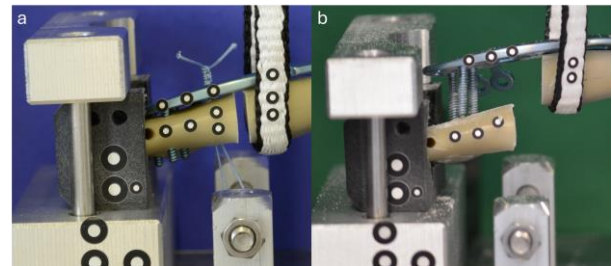


Fig. 1: a) Versuchsaufbau am lateralen Ende inklusive CC-Banding; b) Versagensmodus des lateralen Cut-outs.

Tab. 1: Anzahl der Prüfkörper, die während der dynamischen Testphase versagten, und die unterschiedlichen Arten des Versagens.

Gruppe	Laterale Fraktur	Mediale Fraktur	Laterales Cut-out	Versager in dyn. Testung
A	2	4	6	5
B	3	9	-	5
C	2	10	-	1
D	1	-	11	12

Diskussion: Die Verwendung zusätzlicher Schrauben von anterior und eines CC-Bandings hat biomechanisch einen großen Effekt und führt zu einem deutlich geringeren Cut-out der Schrauben aus dem lateralen Frakturfragment. Der höhere operative Aufwand ist daher aus biomechanischer Sicht sinnvoll.

Hinweise: Das Projekt wurde durch Drittmittel (IBRA research grant No. 2203-0143) finanziert.

Referenzen:

1. Brouwer et al, J Shoulder Elb Surg, 18(1): e22–e25, 2009.



THE ASSOCIATION OF CLINICALLY SCORED HAND INFLAMMATION WITH MUSCLE ACTIVITY DURING GRASPING IN RHEUMATOID AND PSORIATIC ARTHRITIS

Birte Coppers (1,2), Verónica Gracia Ibáñez (3), Simon Heinrich (4), Néstor J. Jarque-Bou (3), Sara Bayat (1,2), Koray Tascilar (1,2), Sigrid Leyendecker (4), Georg Schett (1,2), Anna-Maria Liphardt (1,2)

1. Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg & Universitätsklinikum Erlangen, Internal Medicine 3 - Rheumatology and Immunology, Erlangen, Germany; 2. FAU Erlangen-Nürnberg & Universitätsklinikum Erlangen, Deutsches Zentrum Immuntherapie, Erlangen, Germany; 3. Department of Mechanical Engineering and Construction, Universitat Jaume I, Castellón de la Plana, Spain; 4. FAU Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Technische Dynamik, Erlangen Germany

Introduction: Reduced hand function impacts the quality of life of rheumatoid arthritis (RA) and psoriatic arthritis (PsA) patients. After initial improvements, it often declines despite clinical remission, indicating a mismatch between clinical disease activity scores and hand function [1]. We aimed to quantify associations between clinically scored hand inflammation, grip strength, and forearm muscle activity (flexor digitorum superficialis (FDS), extensor digitorum communis (EDC)) during power grasps in RA and PsA patients.

Methods: RA (ACR/EULAR 2010 criteria) and PsA (CASPAR criteria) patients treated in the Internal Medicine 3, Erlangen, Germany (Ethics #357_20B), underwent standardised ultrasound (US) scoring of the hand [2], a tender/swollen joint count (78/76 TJC/SJC), and performed hand function tasks, including a power grasp (two repetitions; Vigorimeter, KLS Martin Group, Germany; Fig. 1). Surface electromyography (EMG) of the FDS and EDC (Noraxon, USA; 1500 Hz) was recorded and post-processed [3]. Associations between hand US or TJC/SJC scores and grip strength or EMG parameters (root mean square (RMS; % peak EMG), enhanced wavelength (EWL) [3]) were assessed and compared between RA and PsA (linear mixed-effects models; adjusted for: age, sex, hand dominance; intercept: participant ID).



Fig. 1: Power grasp in measurement set-up.

Results: Sixty-nine RA (47/22 f/m, age 53±14) and 75 PsA (38/37 f/m, age 54±14) patients were included. In PsA, higher US and JC scores are

associated with lower grip strength and EDC EWL, and higher US Doppler scores with increased FDS RMS (all $p < 0.05$). In RA, only higher US joint Doppler score and TJC are associated with reduced strength, which differed significantly from the association for PsA patients ($p < 0.05$) (Tab. 1).

Tab. 1: Mean change in muscle parameters by 1-unit increase in US joint Doppler score (* = $p < 0.05$).

Parameter	RA (EMM, 95% CI)	PsA (EMM, 95% CI)	p-value RA/PsA
Strength, kPa	-11 (-19, -3)*	-34 (-47, -21)*	0.004
EWL EDC, mV/ms	-2 (-7, 3)	-9 (-16, -3)*	0.068
RMS FDS, % max	-2 (-9, 4)	13 (3, 23)*	0.013

Discussion: The relationship between muscle activity and acute inflammation differs in RA and PsA. While in PsA, reduced grip strength and specific changes in muscle activity were linked to most inflammation scores, in RA only impaired grip strength was associated with joint inflammation and tenderness. This offers new insight into different aspects of functional decline in RA and PsA, that are not reflected in clinical scores.

Notes: Funding: Deutsche Forschungsgemeinschaft, SFB 1483 – Project-ID 442419336, EmpkinS.

References

1. Rydholm et al, Arthritis Care Res 70: 491-498, 2018.
2. D'Agostino et al, RMD Open 3: e000428, 2017.
3. Jarque-Bou et al, IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng. 32:1505-1514, 2024.

DGfB
2026
18.-20. März, Hamburg



VERGLEICH VON OPTISCHER UND IMU-BASIERTER GANGKLASSIFIKATION BEI SPRUNGGELENKSARTHRODESEN MITTELS MASCHINELLEN LERNENS

Leandra Bauer (1,2), Andreas Brand (3,4), David Rügamer (5,6), Sebastian Baumbach (2,7)

1. Experimentelle Orthopädie, Universitätsklinikum Jena, Campus Eisenberg, Waldkliniken Eisenberg, Jena, Deutschland; 2. Orthopädie und Unfallchirurgie, Muskuloskelettales Universitätszentrum München (MUM), Klinikum der Universität München, München, Deutschland; 3. Institut für Biomechanik, BG Unfallklinik Murnau, Murnau, Deutschland; 4. Institut für Biomechanik, Paracelsus Medizinische Universität Salzburg, Salzburg, Österreich; 5. Statistik, LMU München, München, Deutschland; 6. Munich Center for Machine Learning (MCML), München, Deutschland; 7. OrthoPlus, München, Deutschland

Einleitung: Optische Messsysteme (Optical Motion Capture, OMC) stellen in der klinischen Bewegungsanalyse nach wie vor den Goldstandard dar. Inertiale Messeinheiten (Inertial Measurement Units, IMUs) bieten eine kosteneffiziente und praktikable Alternative. Neuere Entwicklungen ermöglichen die mehrsegmentale Modellierung des Fußes auch bei IMU-Anwendungen und erweitern so deren klinische Aussagekraft [1,2]. Ziel dieser Studie war es, die Fähigkeit von IMU und OMC-Systemen zur automatisierten Klassifikation anhand verschiedener Arthrodesen des Sprunggelenks mithilfe maschineller Lernverfahren (ML) zu vergleichen.

Methoden: In einer prospektiven, bizenitrischen Studie wurden 70 Patient*innen mit Tibiotalar- (n = 34) oder Subtalararthrodese (n = 36) verglichen. Die Bewegungsanalyse erfolgte mittels IMU-basiertem 2-Segmenten Fußmodell (Ultium Motion, Noraxon) sowie dem markerbasierten Oxford Foot Model (Vicon). Für beide Systeme wurden kinematische Daten der Segmente Tibia–Rückfuß, Tibia–Vorfuß und Rückfuß–Vorfuß über den Gangzyklus erhoben und mittels funktionaler Hauptkomponentenanalyse aufbereitet. Darauf basierend wurden verschiedene ML-Algorithmen (LASSO, Random Forest, SVM) zur Klassifikation der Arthrodesen (Tibiotalar vs. Subtalar) eingesetzt. Zusätzlich wurden unterschiedliche Inputgrößen (wie Anzahl Schritte) verglichen. Die Modellleistung wurde anhand von Genauigkeit, AUC und F1-Score bewertet; zusätzlich wurden segment- und ebenen-spezifische Einflüsse auf die Modellleistung analysiert.

Ergebnisse: Alle ML-Modelle erreichten eine hohe Klassifikationsgüte mit mittleren Genauigkeiten

von 0,75–0,90 und AUC-Werten > 0,90 (Abb. 1). Der Vergleich zeigte über alle Datensätze ähnliche Ergebnisse, wobei IMU-basierten Modelle geringfügig niedrigere Leistungswerte erzielten. Für die IMU-Daten zeigte die sagittale Bewegung zwischen Rückfuß und Vorfuß einen deutlichen Einfluss auf die Klassifikation. Für OMC-Daten zeigte die Transversalbewegung zwischen Tibia und Rückfuß den stärksten Einfluss.

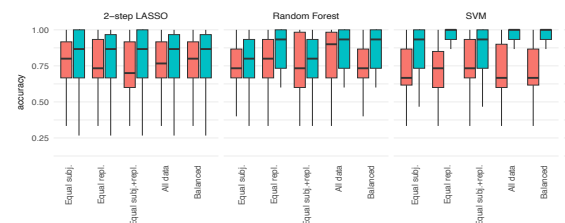


Abb. 1: Genauigkeit der Klassifikation basierend auf IMU Daten (rot) und OMC Daten (grün).

Diskussion: Das IMU-basierte 2-Segmenten Fußmodell konnte eine annähernd vergleichbare diagnostische Trennschärfe zum OMC-System erreichen. Damit besitzen IMU-Systeme ein hohes Potenzial für den klinischen Einsatz, insbesondere zur objektiven Funktionsbewertung und Verlaufskontrolle nach Sprunggelenksarthrodese. Künftige Arbeiten sollten die Anwendbarkeit auf weitere pathologische Gangbilder prüfen.

Hinweise: Diese Studie wurde von “Förderung, Forschung, Lehre (FöFoLe)” der LMU München finanziell unterstützt.

Referenzen:

1. Bauer L, et al. BMC Musc Disord. 2024 Jul 31;25(1):606.
2. Bauer, L., et al. Gait & Posture. 2024 Oct 1;114:112–8.



NEW HELICAL PLATE SYSTEMS FOR FIXATION OF PROXIMAL HUMERUS AND DISTAL FEMUR FRACTURES – ANATOMICAL AND BIOMECHANICAL CONSIDERATIONS

Boyko Gueorguiev (1), Torsten Pastor (1–4), Ivan Zderic (1), Tatjana Pastor (1,5), Moritz Kraus (1,4,6), Frank J. P. Beeres (2,7), Björn-Christian Link (2), Peter Varga (1), R.Geoﬀ Richards (1), Karl Stoffel (8), Matthias Knobe (2,9,10)

1. AO Research Institute Davos, Davos, Switzerland; 2. Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, Lucerne Cantonal Hospital, Lucerne, Switzerland; 3. Medical Faculty, University of Zurich, Zurich, Switzerland; 4. Department of Trauma, University Hospital Zurich, University of Zurich, Zurich, Switzerland; 5. Bürgerspital Solothurn, Solothurn, Switzerland; 6. Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Metal Science "Acad. A. Balevski", Sofia, Bulgaria; 7. Department of Health Science and Medicine, University of Lucerne, Lucerne, Switzerland; 8. Department of Orthopaedics and Traumatology, University Hospital Basel, Basel, Switzerland; 9. Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, Westmuensterland Hospital, Ahaus, Germany; 10. Medical Faculty, RWTH University Aachen, Aachen, Germany

Introduction: Proximal humerus and distal femur fractures can be a challenging endeavour for treatment, especially in presence of comminution. When used for their with MIPO technique, helical plates can potentially avoid radial nerve irritation and the medial neurovascular structures of the thigh, respectively.

Methods: Several anatomical and biomechanical studies were performed at the AO Research Institute Davos [1–7] with the aims to:

(1) explore the safety of applying different long plate designs – straight lateral, 45° and 90° helical – with MIPO technique, assess the plate distances to adjacent humeral anatomical structures at risk, and investigate their biomechanical competence for fixation of comminuted proximal humeral shaft fractures;

(2) explore the safety of applying different designs for either (a) additional medial plating at the distal femur – straight medial versus 90° helical – used in MIPO double-plate constructs (in geriatric patients), or (b) single MIPO – straight lateral versus 180° helical (in young patients), assess plate distances to adjacent anatomical structures at risk, and investigate their biomechanical competence for fixation of unstable distal femoral fractures.

Results and Discussion: The outcomes of the performed studies demonstrate that:

(1) MIPO with 45° and 90° helical plates at the humerus is safely feasible, resulting in significantly bigger distances to the radial nerve compared to straight long plates. However, the distances remain small and attention must be paid to the musculocutaneous nerve and the brachial artery.

(2) MIPO with 90° and 180° helical plates at the distal femur is safe, however, attention must be

paid to the medial neurovascular structures with 90° helical plates and to the proximal perforating vessels with 180° helical plates. Helical plates can avoid irritation of medial neurovascular structures – compared with straight plates – although care must be taken during their distal insertion.

(3) Biomechanically, 45° helical plating of comminuted proximal humeral shaft fractures is associated with lower axial and varus/valgus displacement and reveals comparable resistance to failure versus straight plating. Therefore, it can be considered as a valid alternative to straight plating. In contrast, although 90° helical plating is associated with higher initial stability against varus/valgus collapse and comparable endurance under dynamic loading, it demonstrates lower resistance to flexion/extension and internal rotation with bigger shear interfragmentary displacements versus straight lateral plating and therefore cannot be considered as its alternative.

(4) Biomechanically, 90° helical double plating may be considered a useful alternative to straight double plating (in geriatric patients), showing ameliorated damping capacities during flexion. In addition, single 180° helical plating is associated with significantly higher endurance to failure and may be considered as a valuable alternative to standard straight lateral plating (in young patients).

References

1. Pastor et al, Injury, 53:2636, 2022
2. Pastor et al, Eur J Trauma Emerg Surg, 49:411, 2023
3. Pastor et al, Arch Orthop Trauma Surg, 143:4983, 2023
4. Pastor et al, Medicina, 59:2043, 2023
5. Pastor et al, Clin Biomech, 110:106119, 2023
6. Pastor et al, J Orthop Res, 42:886, 2024
7. Pastor et al, J Orthop Res, 43:473, 2025



IMPACT OF FEMORAL DEROTATION OSTEOTOMY ON PATELLOFEMORAL LOADING IN INDIVIDUALS WITH PATELLOFEMORAL INSTABILITY

Bernhard Guggenberger (1), Martin Svehlik (1), Hans Kainz (2)

1. Medical University of Graz, Graz, Austria; 2. University of Vienna, Vienna, Austria

Introduction: Increased femoral anteversion (FA) is associated with patellofemoral (PF) instability [1], increased lateral loading of the patella [1,2] and can be treated with femoral derotation osteotomy (FDO) in excessive cases. However, the effects of FDO on PF stability and loading while walking are not fully understood and cannot be measured in vivo. Therefore, this study used personalised in silico musculoskeletal modelling to investigate the effect of FDO on medio-lateral PF joint loading in individuals with PF instability.

Methods: We analysed retrospective 3D gait analysis and MRI data from 16 participants (15 females; age 15.8 ± 1.9 years; weight 60.2 ± 9.6 kg; height 1.68 ± 0.08 m) with recurrent PF instability and FA $\geq 30^\circ$ (mean FA $36.1 \pm 4.9^\circ$) using musculoskeletal simulations. We prepared two OpenSim models [3] per participant, based on 3D gait analysis and MRI data: (i) a model with personalised FA and tibial torsion and (ii) a post-surgery model with FA adjusted to 12° to simulate the FDO. Tibial torsion and FA were personalised using the Torsion tool [4]. We assessed joint angles, joint moments, muscle moments, muscle forces and PF joint contact forces. We compared peak PF joint loading before and after FDO using a paired t-test and correlated the change in rectus femoris force with the change in peak medial lateral PF force before and after FDO ($\alpha = 0.05$). Furthermore, we checked for unsuccessful cases, defined by no medialization of the patellofemoral joint contact force post-surgery.

Results: The FDO significantly increased peak medial PF joint contact force (mean change: 0.03 body weight, $p < 0.001$), although two participants showed no change (Fig. 1). These two individuals walked with reduced knee flexion angle and moment during the stance phase. The change in peak medio-lateral PF forces due to the FDO strongly correlated with the initial femoral version

angle in the individuals with successful FDO ($r=0.86$, $p<0.001$). A strong negative correlation ($r=-0.86$, $p<0.001$) was found between rectus femoris force and the shift to a more medial PF force post-surgery in the successful cases.

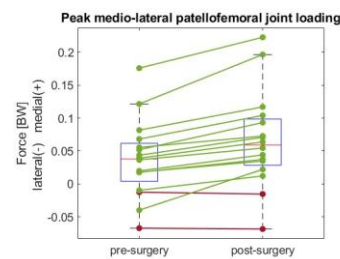


Fig. 1: Peak medio-lateral patellofemoral joint force. Green lines represent the successful cases and red ones the unsuccessful. BW = body weight.

Discussion: Our findings support considering FDO as an additional treatment in individuals with PF instability and excessive FA, but emphasize the importance of incorporating functional assessments such as gait analysis into treatment planning. Considering the mean body weight of the participants and the mean change in peak medio-lateral PF joint force, the resulting additional medialising force would be 17 N. Compared to the mean tensile strength of the medial PF ligament (approximately 208 N [5]), the mean effect of the FDO represents less than 10% of this value. In the successful cases, the medialization of PF force ranged from 9 N to 46 N. Therefore, in patients with excessive femoral version, FDO may enhance treatment outcomes for PF instability when used in conjunction with other treatments, such as medial PF ligament reconstruction.

References

1. Kaiser et al. (2017). Clin. Biomech, 47: 103-109
2. Passmore et al. (2018) Gait&Post, 63: 228-235
3. Kaneda et al. (2023). J. Biomech, 152: 1-7
4. Veerkamp et al. (2021). J. Biomech, 125: 1-6
5. Mountney et al. (2005). J. Bone Joint Surg, 87: 36-40



TRANSLATING CERVICAL MECHANICS TO SPINOPELVIC ALIGNMENT: COMPARING A VALIDATED WHOLE-SPINE FINITE ELEMENT MODEL WITH EOS RADIOGRAPHS USING OP-C2 AND PI-LL IN FORWARD HEAD POSTURE

Katterine Rios (1), Ali Firouzabadi (2), Kathleen M. Curran (1), David B. MacManus (3), Hendrik Schmidt (2)

1. School of Medicine, University College Dublin, Dublin-Ireland; 2. Julius Wolff Institute, Charité'-University of Medicine Berlin-Germany, 3. School of Mechanical & Materials Engineering, University College Dublin-Ireland.

Introduction: Forward head posture (FHP), increasingly linked to prolonged smartphone use, affects cervical and spinopelvic alignment¹. Sagittal balance (SB) is often assessed using full-body EOS imaging². While cadaveric studies described the Occipital-Cervical 2 (OP-C2) relationship qualitatively³, no quantitative values exist. We introduce **OP-C2** as a novel upper-cervical metric and compare it between a validated whole-spine finite element model (FEM) and EOS radiographs, examining its relationship to Lumbar Lordosis mismatch (PI-LL), a key clinical sagittal balance marker⁴.

Methods: A validated whole-spine FEM (THUMS v4)⁵, benchmarked against cadaveric functional spinal unit data, simulated six FHP conditions. Anterior head translations of 2.5–5.0 cm were applied with or without compensatory occipital rotation to restore horizontal gaze, representing slight, moderate, and severe FHP in early (no rotation) and chronic (rotation) stages. Sagittal parameters of the FEM were measured using Surgimap®. EOS radiographs (n = 201) were classified by craniovertebral angle¹ into two groups: FHP (<51°) and non-FHP (≥51°) and processed in Python (Matplotlib). OP-C2 and PI-LL mismatch were extracted for this study.

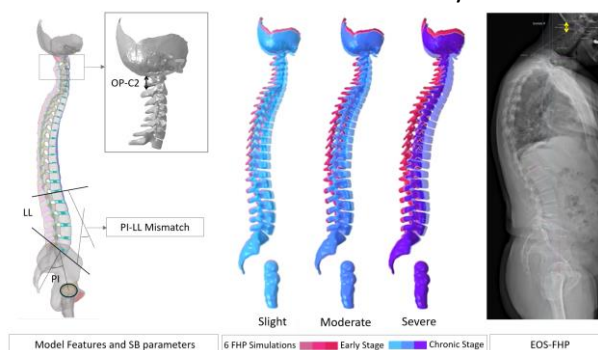


Fig. 1: Sagittal balance metrics and EOS example.

Results: The FEM baseline reproduced normative OP-C2 and PI-LL values. Increasing FHP severity resulted in progressive OP-C2 shortening with corresponding increases in PI-LL increases, closely matching patterns in EOS FHP cases. FEM OP-C2 values overlapped with EOS measurements, and OP-C2 trends paralleled PI-LL across datasets, indicating a previously unreported cervical-lumbopelvic coupling.

Tab. 1: Sagittal balance results across the study

Groups	OP-C2 (mm)	PI-LL (°)
EOS Non-FHP (n = 163)	28.13 ± 5.50	2.49 ± 11.66
EOS FHP (n = 38)	24.73 ± 6.68	4.88 ± 13.08
FEM Baseline (n = 1)	30.00	1.00
FEM Simulations (n = 6)	25.10 ± 3.77	8.74 ± 3.56
OP-C2: Distance between the occipital protuberance and the superior midpoint of the Cervical 2 spinous process		
PI-LL: Computed as pelvic incidence minus lumbar lordosis		

Discussion: This study provides the first quantitative characterization of OP-C2 and demonstrates its translational relevance by linking upper cervical alignment to PI-LL. Consistent behaviours between FEM simulations and EOS radiographs highlights OP-C2 and PI-LL as complementary metrics for assessing cervical-lumbopelvic interactions in FHP. These results underscore a mechanical coupling whereby FHP induces upper-cervical shortening and increases lumbo-pelvic compensatory mechanisms associated with global sagittal imbalance and increased deformity risk.

References

- 1-Elabd AM et al. J Body Mov Ther. 2021 28:150-56.
- 2-Le Huec JC et al. Eur Spine J. 2015; 24:63–71.
- 3-Patwardhan AG et al. Eur Spine J. 2018; 27:25–38.
- 4-Schwab FJ et al. Spine. 2013; 38: E803–812.
- 5-Toyota Motor Corporation. 2021, THUMS AM50 Occupant Model v4.2 Documentation.



EINFLUSS AKTIVER UND PASSIVER EXOSKELETTE AUF DIE KINEMATIK UND BELASTUNG DES HÜFTGELENKES In VIVO

P. Damm, L.M.-S. Cordes, J. Dymke, C. Brandl, H. Schmdit, A. Bender

Zielsetzung und Fragestellung

Das Hüftgelenk spielt eine wesentliche Rolle bei manueller Lastenhandhabung. Hebetätigkeiten können jedoch das Hüftgelenk überlasten und langfristig zu Muskel-Skelett-Erkrankungen führen, die die Lebensqualität erheblich beeinträchtigen. Exoskelette bieten eine vielversprechende Möglichkeit mechanische Unterstützung zu leisten. Ziel dieser Studie war es, Auswirkungen externer Unterstützung beim Heben auf die Belastung des Hüftgelenks in vivo zu bestimmen.

Material und Methoden

Sechs Probanden (5m/1w) mit instrumentierten Hüftimplantat (1) wurden gebeten, eine 10kg schwere Kiste auf ein 80cm hohes Regal zu heben - ohne als auch mit Unterstützung durch ein passives (Paexo Back, Ottobock) oder ein aktives Exoskelett (CrayX, German Bionic). Gleichzeitig wurden die triplanaren Bewegungen der Hüfte, Knie und des Oberkörpers sowie die EMG-Aktivierung der Gesäßmuskulatur (GLmax und GLmed) und Rückenmuskulatur (lumbaler Erector Spinae - LES) gemessen. Bestimmt wurden die Gelenkkontaktkräfte (F_{res}), Torsionsmomente (M_{tors}) und die Muskelmomente in der Sagittalebene (M_{muscle}) sowie der Muskelaktivierung der Gluteal und Rückenmuskulatur und die Gelenkkinematik.

Ergebnisse

Zwei Phasen des Bewegungsablaufs wurden anhand der Maxima von F_{res} definiert: Der erste (Peak1) tritt nach dem Anheben, der zweite (Peak2) beim Abstellen des Gewichts auf. Mit dem passiven System hat sich F_{res} bei Peak1 um -30%, M_{tors} um -54% und M_{muscle} um -26% verringert, im Vergleich zu ohne Unterstützung. Gleichzeitig verringerten sich die Kniebeugewinkel um -16% und Hüftbeugewinkel um -14%. Mit dem aktiven System wurde M_{tors} um -28% im Peak1 und M_{muscle} um -28% im Peak2 verringert. Die Kniewinkel verringerten sich bei Peak1 um -48% bei gleichzeitiger Erhöhung der Hüftwinkel um +15% und einer Abnahme des Rumpfwinkels um -43%. Das passive System erhöhte die Muskelaktivierung zwischen Peak1 und Peak2 um +8% des GLmed bis +22% bei LES. Bei Verwendung des aktiven Systems wurde GLmax um -16% und LES um -28% reduziert.

Diskussion

Diese Studie zeigte, dass die untersuchten Exoskelette einen Einfluss auf die Gelenkkinematik und Muskelaktivierung haben. Darüber hinaus ist der gewünschte Entlastungseffekt des Exoskeletts für die Gelenkkontaktkraft in der Hüfte gering, für das Torsionsmoment in der Femurachse jedoch deutlich ausgeprägter. Derzeit werden detailliertere Datenanalysen durchgeführt, um ein tieferes Verständnis der in vivo Belastungssituation und ihrer Wechselwirkung mit einer veränderten Gelenkkinematik und Muskelaktivierung zu erlangen. Beispiele für die in vivo Messungen sind unter <https://workhealth.orthoload.com> verfügbar.

Referenzen

1. Damm et al, 2010.
2. Heinlein et al, 2007
3. Bergmann et al, 2008

Acknowledgements

Dieses Projekt wurde von der DFG (DA1786/5-1/2, FOR5177), BMBF WorkHealth-TP3/TP5, OrthoLoadClub unterstützt.

EFFEKTE EINER KNIEBANDAGE AUF DIE STABILITÄT UND BELASTUNG DES KNIEGELENKS UNTER MUSKULÄRER ERMÜDUNG BEIM LAUFEN

Tobias Heß (1), Christian Mitschke (2), Frédéric Marin (1), Thomas L. Milani (3)

1. Professur Bewegungswissenschaft in Prävention und Rehabilitation, Technische Universität, Chemnitz, Deutschland; 2. Olympiastützpunkt Sachsen e.V., Chemnitz, Deutschland; 3. Forschungsgruppe Biomechanik und Sensorik, Technische Universität, Chemnitz, Deutschland

Einleitung: Kniegelenksverletzungen treten vor allem bei intensiver sportlicher Belastung auf, wenn Ermüdung die muskuläre Leistung, die neuromuskuläre Kontrolle und damit die Gelenkstabilität beeinträchtigt [1]. Um das Verletzungsrisiko zu reduzieren, werden Kniebandagen verwendet, die mechanische Unterstützung und Stabilisierung bieten sollen [2]. Bisher ist jedoch noch unklar, wie das Tragen einer Kniebandage unter muskulärer Ermüdung die Biomechanik des Laufens bei gesunden Probanden beeinflusst und ob sie zur Verletzungsprävention beitragen kann.

Methoden: Dreißig gesunde Probanden ($26,0 \pm 5,5$ Jahre) absolvierten ein intensives Ermüdungsprotokoll mit Jumping Jacks, Calf Raises, Step-Ups, Side Lunges, Squat Jumps und Wandsitzen. Anschließend liefen sie über eine Kraftmessplatte ($\emptyset 3,4 \pm 0,5$ m/s), während ihre Kinematik mit einem markerbasierten 3D-Bewegungsanalysesystem (Vicon) erfasst wurde. Die Messungen erfolgten mit und ohne Kniebandage (Sports Knee Support, Bauerfeind AG, Zeulenroda-Triebes, Deutschland) in randomisierter Reihenfolge. Zur statistischen Analyse der biomechanischen Parameter wurden t-Tests für verbundene Stichproben ($\alpha = 0,05$) durchgeführt und die Effektstärke nach *Cohen's d* berechnet. Ethikvotum TU Chemnitz: #101508546.

Tab. 1: Vergleich biomechanischer Parameter ohne Bandage vs. mit Bandage

Parameter	ohne Bandage	mit Bandage	<i>p</i> ; <i>Cohens d</i>
Max. Knieflexionswinkel (°)	43,3 $\pm 5,6$ *	44,9 $\pm 5,6$ *	*0,007; 0,29
Max. Knieflexionsmoment (Nm/kg)	1,9 $\pm 0,6$ *	2,4 $\pm 0,6$ *	*<0,001; 0,83
Max. Knieabduktionsmoment (Nm/kg)	1,95 $\pm 0,4$ *	1,8 $\pm 0,5$ *	*0,044; 0,33

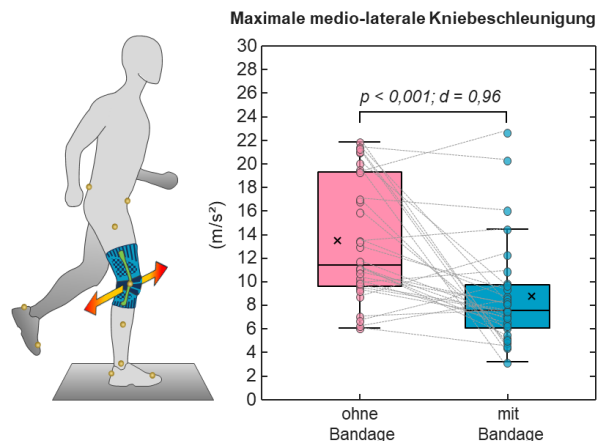


Fig. 1: Vergleich maximale medio-laterale Kniebeschleunigung ohne Bandage vs. mit Bandage

Ergebnisse: Durch das Tragen der Bandage beim Laufen erhöhten sich der maximale Flexionswinkel sowie das maximale Knieflexionsmoment signifikant, während das maximale Knieabduktionsmoment und die medio-laterale Kniebeschleunigung signifikant abnahmen.

Diskussion: Das Tragen einer Kniebandage vergrößert die Bewegungsamplitude und die Belastbarkeit in der Sagittalebene. Zudem wird in der Frontalebene die Belastung reduziert sowie die Stabilität erhöht. Der gezielte Einsatz von Kniebandagen kann somit einen Beitrag zur Verletzungsprophylaxe im Sport leisten, insbesondere unter muskulärer Ermüdung [2,3].

Notes: Die Autoren danken der Bauerfeind AG für die finanzielle Unterstützung dieser Studie.

References

1. Ortiz et al., J Strength Cond Res, 24: 1019–1027, 2010
2. Wang et al., Int J Environ Res, 20(5), 4652, 2023
3. Tuang et al., Clin J Sport Med, 33(1):78-89, 2022



REDUCING MECHANICAL ARTEFACTS IN SURFACE EMG SIGNAL ACQUISITION IN EXOSKELETON RESEARCH- A FEASIBILITY STUDY

Imke Pitz (1), Ann-Kathrin Einfeldt (1,2), Annika Willnat (1), Laurent Matthies (1), Patrick Jahn (3), Christoph Rußmann (1).

1. Health Campus, HAWK, Göttingen, Germany; 2. Department of Orthopaedic Surgery, MHH, Hannover, Germany; 3. Health Service Research, UMH, Halle (Saale), Germany

Introduction: Surface electromyography (sEMG) is essential for quantifying muscle activity in exoskeleton laboratory research[1]. However, sEMG measurements in this context are often affected by mechanical artifacts and practical placement challenges that limit data quality[2]. This feasibility study evaluated custom 3D-printed covers for dry sEMG electrodes, hypothesizing that they would reduce motion artifacts and improve signal reliability (Fig. 1).



Fig. 1: 3D-printed cover

Methods: 23 healthy adults participated in a feasibility study with dry sEMG electrodes (Delsys Trigno Mini/Avanti) placed on the right and left vastus medialis. Each performed knee extension tasks under six conditions (with/without 3D-printed cover; no, vertical, or lateral perturbation using a 3.35 kg load). sEMG signals were rectified and normalized to %MVC. Signal quality, assessed via RMS amplitude (%MVC) and Signal-to-Noise-Ratio (SNR), were evaluated, while physiological factors (skin temperature and resistance) were monitored. Data analysis included linear mixed-effects models.

Results: Application of the 3D-printed covers was associated with a clear trend towards reduced mean muscle activity (%MVC) during both vertical and lateral mechanical perturbations, compared to uncovered conditions (Fig. 2). Even in the absence of mechanical disturbances, the use of covers yielded more stable sEMG signals. These trends were supported by consistently higher SNR values in covered conditions, indicating improved signal quality. The use of the covers was not associated with observable differences in skin temperature, baseline noise or skin resistance across conditions.

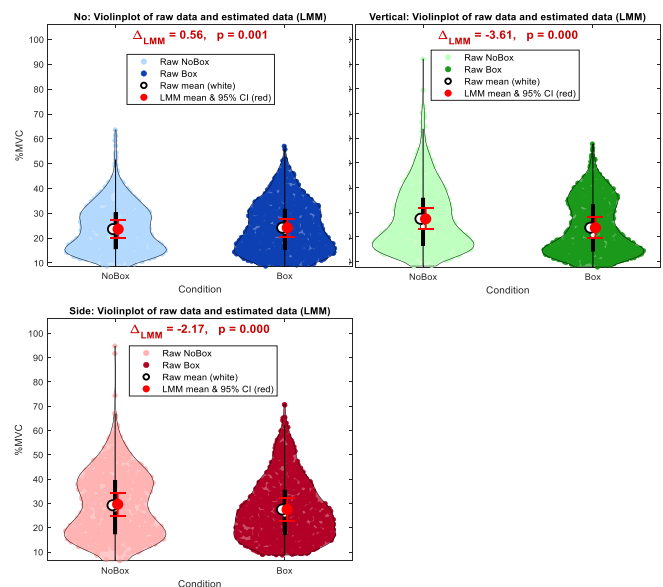


Fig. 2: LMM results Box vs. NoBox all variables

Discussion: The use of 3D-printed electrode covers showed clear potential to minimize motion artifacts and improve sEMG signal reliability in both perturbed and unperturbed conditions. These effects are likely due to improved sensor fixation, reduced crosstalk, and lower signal dissipation beneath the cover, without introducing physiological side effects such as increased skin temperature or altered resistance. These mechanisms are in line with previous research[3,4]. Our 3D cover contributes to higher data quality and standardization in exoskeleton sEMG research. A future study will evaluate the covers during exoskeleton use in a laboratory setting.

References

1. de Looze et al., Ergonomics, 2016.
2. Boyer et al., Sensors (Basel), 2023.
3. Roy et al., Med Biol Eng Comput, 2007.
4. Cömert & Hyttinen, Biomed Eng Online, 2015.



ZWISCHEN STABILITÄT UND MOBILITÄT: BEWEGUNGSWISSENSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNG EINES NEUEN TRAININGSGERÄTS FÜR DIE FRÜH-REHABILITATION

Nils Ole Grunow (1), Lennart Rissiek (1), Freddy Sichting (1)

1. Professur Bewegungswissenschaft in Prävention und Rehabilitation, TU Chemnitz, Chemnitz, Deutschland

Einleitung: Die Rehabilitation nach Verletzungen der unteren Extremität, wie etwa Kreuzband- oder Achillessehnenverletzungen, erfordert häufig eine frühzeitige Wiederherstellung der neuromuskulären Kontrolle und Kraft. So kann arthrogener Muskelinhibition, Muskelatrophie und kardiovaskulärer Dekonditionierung entgegen gewirkt werden [1]. Hierfür sind Trainingsansätze erforderlich, die eine frühe, gelenkschonende Aktivierung bei gangähnlichen Bewegungsmustern ermöglichen. Das Trainingsgerät *ScootTrain*® überträgt die Bewegungscharakteristik des Tretroller-Fahrens auf einen gangähnlichen Bewegungsablauf mit stabilisierendem Standbein und dynamischem Spielbein (Abb. 1). Ziel dieser Studie ist die quantitative Bestimmung der neuromuskulären Aktivität und der Herzfrequenzbelastung, um das Potenzial des Trainingsgeräts in der frühen Rehabilitation der unteren Extremität zu bewerten.



Abb. 1: Trainingsgerät *ScootTrain*®

Methoden: In einer explorativen Laborstudie mit 10 gesunden Proband:innen ($30,5 \pm 5,7$ Jahre) wurden vier Bedingungen untersucht: Nutzung des Trainingsgeräts bei einer Schrittfrequenz von 55 und 80 BPM, Gehen auf dem Laufband sowie Stehen. Erfasst wurden Oberflächen-EMG-Signale (RMS des M. vastus medialis, M. biceps femoris, M. gastrocnemius, M. tibialis anterior; Delsys Trigno™)

und die Herzfrequenz (Garmin Forerunner®). Die Muskelaktivität des Standbeins wurde mit Stehen, die des Spielbeins mit Gehen verglichen.

Ergebnisse: Das Standbein zeigte im Mittel über alle Muskelgruppen eine 3,1-fach (55 BPM) bzw. 4,2-fach (80 BPM) höhere mittlere Muskelaktivität im Vergleich zum Stehen, mit der größten Differenz beim M. vastus medialis (RMS Stehen: $9,2 \pm 8,8 \mu V$; 55 BPM: $46,2 \pm 27,1 \mu V$; 80 BPM: $66,3 \pm 38,0 \mu V$). Für das Spielbein zeigte sich gegenüber dem Gehen eine 1,1-fach (55 BPM) bzw. 1,7-fach (80 BPM) erhöhte Aktivität (größte Differenz M. vastus medialis: $22,1 \pm 18,3 \mu V$; $14,5 \pm 5,1 \mu V$; $53,5 \pm 73,2 \mu V$). Die Herzfrequenz lag beim Stehen bei $63,1 \pm 7,4 \text{ min}^{-1}$, beim Gehen bei $89,9 \pm 11,0 \text{ min}^{-1}$ und auf dem Trainingsgerät bei $95,0 \pm 13,7 \text{ min}^{-1}$ (55 BPM) bzw. $119,0 \pm 17,9 \text{ BPM}$ (80 BPM).

Diskussion: Das Trainingsgerät *ScootTrain*® aktiviert das Standbein neuromuskulär und beansprucht das Spielbein dynamisch. Die gesteigerte Herzfrequenz zeigt eine relevante kardiovaskuläre Belastung an. Die Kombination aus stabilisierender und bewegungsdynamischer Muskelarbeit spricht für ein Potenzial zur Verbesserung der Gelenk- und Rumpfstabilität, zur Reduktion muskulärer Atrophie sowie zur Nutzung von Cross-Education-Effekten. Die Ergebnisse legen zudem nahe, dass die gangähnliche, aufrechte Bewegung eine frühe Mobilisation und (Re-)Schulung der Motorik unterstützen kann, beispielsweise nach Kreuzband- oder Achillessehnenverletzungen.

Hinweise: Das Trainingsgerät *ScootTrain*® wurde vom Hersteller zur Verfügung gestellt; es bestehen keine finanziellen Interessenkonflikte.

Referenzen

1. Pietrosimone et al, J Sport Rehabil, 31(6):694-706, 2022.



WIRKUNG PASSIVER EXOSKELETTE: EINE STUDIE ZU PFLEGERISCHEN TÄTIGKEITEN

Annika Willnat (1), Imke Pitz (1), Robin Diedrichs (1), Eric Steigmeier (1), Shiney Franz (1)

1. Fakultät Ingenieurwissenschaften und Gesundheit, HAWK, Göttingen, Deutschland

Einleitung: Angesichts der hohen körperlichen Anforderungen im Pflegesektor und des zunehmenden Mangels an Pflegepersonal stellt sich verstärkt die Frage, ob und in welchem Ausmaß Exoskelette im Gesundheitssektor unterstützend eingesetzt werden können [1,2]. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkungen passiver Exoskelette bei pflegerischen Tätigkeiten wie Patient*innentransfer und Vorbeugarbeiten. Bisherige Erkenntnisse aus vorwiegend industriellen Anwendungen werden durch den pflegerischen Kontext erweitert.

Methoden: Es wurden zwei Tätigkeiten ohne (NoExo) sowie mit drei verschiedenen passiven Exoskeletten (LiftSuit-Auxivo (Exo1), Bionic Back-hTrius (Exo2), CareExo Lift-Hunic (Exo3)) in randomisierter Reihenfolge ausgeführt: ein simulierter Patiententransfer (Testperson: 85kg, 3 Wiederholungen) vom Bett auf einen Stuhl und zurück (A) sowie eine statische Vorbeuge des Oberkörpers (40°, 90s) im Stehen (B). An der Untersuchung nahm praxiserfahrenes Fachpersonal teil (w=16, m=5). Mittels Oberflächen-Elektromyografie (EMG, Delsys) wurde die Muskelaktivität des M. Erector Spinae (ES) für beide Körperseiten (ESli, ESre) erfasst und die RMS-Amplituden MVC-normiert. Die jeweiligen prozentualen Differenzen der mittleren RMS-Werte zu NoExo ($\Delta\%$) wurden für den Transfer sowohl über den ganzen Verlauf sowie für die Sequenz des Hebens und Absetzens der Testperson analysiert. Ergänzend wurden subjektive Bewertungen der Proband*innen erhoben.



Fig. 1: Abbildung Transfer-Szenario (A)

Ergebnisse: Für die Ausführung des Transfers zeigten sich geringere mittlere RMS Amplituden für Exo1, Exo2 und Exo3 ($\Delta\%$ ESli: -10.8, -5.9, -4.0; $\Delta\%$ ESre: -10.4, -9.4, -7.0, s. Tab.1) im Vergleich zu NoExo. Die $\Delta\%$ verstärkt sich für alle Vergleiche in der Sequenz des Hebens und Absetzens ($p < 0.01$). Im Vorbeuge-Szenario traten ebenfalls für alle Exoskelette geringere RMS Amplituden im Vergleich zu NoExo auf ($\Delta\%$ ESli: -27.3, -25.0, -25.1; $\Delta\%$ ESre: -20.3, -22.3, -23.1). Die Resultate werden durch die subjektiven Bewertungen bestätigt. Die körperliche Belastung wurde mit allen Exoskeletten als geringer empfunden. Die Unterstützung durch die Exoskelette und der Komfort wurden positiv beurteilt. Die wahrgenommene Einschränkung durch die Exoskelette variierte hingegen stark.

Tab. 1: Prozentuale Differenzen der RMS-Werte; paarweiser t-Test: $p < 0.05^{(*)}$, $p < 0.01^{()}$, $p < 0.001^{(***)}$**

	Vergleich	ES links	ES rechts
Transfer (A)	Exo1 zu NoExo	-10.8^(*)	-10.4^(*)
	Exo2 zu NoExo	-5.9	-9.8
	Exo3 zu NoExo	-4.0	-7.0
Vorbeuge (B)	Exo1 zu NoExo	-27.3^(***)	-20.3^(**)
	Exo2 zu NoExo	-25.0^(***)	-22.3^(***)
	Exo3 zu NoExo	-25.1^(***)	-23.1^(***)

Diskussion: Die Ergebnisse der getesteten Exoskelette zeigen entlastende Trends bei pflegerischen Tätigkeiten, die sowohl aufgaben- als auch designspezifisch zu sein scheinen. Dies unterstreicht die Bedeutung einer anwendungs-spezifischen Auswahl der Exoskelette. Tiefgreifende Erkenntnisse in die Wirkweise von Exoskeletten im Gesundheitssektor erfordern weitere Forschung in realen Arbeitssituationen.

Referenzen

1. Maurice et al., Ergonomics, 66: 859-873, 2023
2. Statistisches Bundesamt (Destatis): Pflegekräftevorausberechnung, 2024.



TARGETED DIGITAL TRAINING INTERVENTION TO CORRECT PATHOLOGICAL GAIT IN INDIVIDUALS AT RISK OF POST-TRAUMATIC KNEE OSTEOARTHRITIS

Matej Skrobot (1, 2), Stephan Oehme (2), Tobias Jung (2), Georg N. Duda (1, 2), Tobias Winkler (1, 2), Nicholas M. Brisson (1, 2)

1. Julius Wolff Institute, Berlin Institute of Health, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Germany;
2. Center for Musculoskeletal Surgery, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Germany.

Introduction: Pathological gait after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) may contribute to post-traumatic knee osteoarthritis (PTOA) [1]. Within the multi-disciplinary PROTO consortium, this study evaluates whether a digital physical training program – using strengthening, neuromuscular, and gait retraining exercises [2] – can improve abnormal gait mechanics in individuals at risk of PTOA. The primary outcome is the pre- to post-intervention change in gait, quantified using a machine learning-derived biomechanical score [3]. We hypothesize that patients undergoing the intervention will show normalized gait at 6 months, whereas standard care patients will retain pathological patterns. Preliminary findings are presented on pathological gait prevalence, training adherence, and post-intervention gait changes in this ongoing study.

Methods: Twenty-three patients (7 women, 16 men; age 33.9 ± 7.8 years; body mass index 23.7 ± 2.7 kg/m²) who underwent ipsilateral four-strand semitendinosus (single-bundle) ACLR (3.0 ± 1.5 months post-injury) completed baseline gait analysis during self-paced treadmill walking at 2.3 ± 0.4 months post-surgery. Marker trajectories and ground reaction forces were collected using a 14-camera motion capture system and two force plates (GRAIL, Motek). A machine learning-derived biomechanical score quantified deviation from healthy gait based on multiplanar knee kinematics and kinetics [3]. Individuals with pathological gait (score > 1.80) were randomized to either a 12-week home-based training intervention or a standard care group. Training was delivered via a sensor-based system with app-based feedback, exercise progression, and adherence tracking. Weekly adherence was calculated as executed versus planned repetitions. Follow-up gait assessment is scheduled 6 months after baseline. Target sample size is 30 participants per group.

Results: Fourteen of the 23 screened patients (61%) exceeded the pathological gait threshold (biomechanical score 3.6 ± 1.1). Two patients were excluded due to additional surgery, leaving 12 randomized participants (intervention: $n = 6$; control: $n = 6$). Adherence in the intervention group varied: two patients completed 5.6% of planned exercises, one 47%, and one 75%; two remain in training (week 6: 55.6%, week 9: 8.3%). To date, two patients have completed the 6-month follow-up: one from the intervention group, the other from the standard care group. The intervention patient had low training adherence (5.6%) and showed a score improvement from 2.97 to -0.34 , while the control patient improved from 2.88 to 1.10.

Discussion: Pathological gait was present in 61% of patients 2-3 months after ACLR, with biomechanical scores well above the inclusion threshold. Adherence to the home-based training program was low, highlighting the challenge of unsupervised rehabilitation. Notably, two patients no longer showed pathological gait at follow-up despite minimal or no training, suggesting effects of standard care, natural recovery, or psychosocial factors. These preliminary findings provide early insight into gait changes and training adherence after ACLR. Additional data are needed to determine if early correction of pathological gait can help prevent PTOA.

Notes: We thank Christiane Horn, Leonie Kilbert, Jonas Heymen, and Sune Gärtner for assistance with data collection. This project is funded by the European Union (PROTO Horizon, Nr. 101095635).

References

1. Hart et al, Br J Sports Med, 50:597-612, 2016.
2. Thoma et al, AJSM, 47:807-814, 2019.
3. Skrobot et al, OAC, 32:S69-S70, 2024.

DGfB
2026
18.-20. März, Hamburg



Comparison of Hip External Rotation Strength Across Measurement Devices and Body Positions

Christina Frese (1), Luis Grossberger (1), Dieter Bubeck (1), Tobias Siebert (2), Wilfried Alt (1)

1. Biomechanics and Sports biology, University Stuttgart, Stuttgart, Germany
2. Motion and Exercise Science, University Stuttgart, Stuttgart, Germany

Introduction: Hip external rotation strength is a key factor for both performance and injury prevention. The isokinetic dynamometer (ISOMED 2000) is considered the current gold standard; however, measurements in a seated position are not possible with this device (1). A side-lying position may serve as an alternative. Therefore, this study aims to examine if the side-lying and seated positions are comparable.

Additionally, handheld dynamometers (1D force sensors) offer a more accessible and cost-effective alternative. To date, only one study has compared isokinetic and handheld devices for assessing hip external rotation strength (2), and few have examined agreement among handheld devices (3). We want to evaluate whether 1D force sensors provide a valid alternative to isokinetic testing.

Methods: Sixteen athletes (10 females, 6 males; 32 legs) performed hip external rotation strength tests, each lasting 3 seconds and 1 minute of rest in between. Measurements were conducted on the ISOMED 2000 in a side-lying position where the MicroFet2 was applied simultaneously on the lever arm of the ISOMED with a broad strip. For measurements in sitting the MicroFet2 (behind pole) and the DynamoMax (between stripes) were applied as shown in figure1.



Fig. 1: Measurement of hip external rotation strength. Left: Side lying position in ISOMED2000 plus MicroFet2. Right: Sitting position with MicroFet2 fixed to table and DynamoMax.

Data evaluation involved mean, standard deviation, pearson correlation and Bland Altman Analysis (BAA).

Results: Athletes produced significantly less force in the sitting compared to the side-lying position when measured with the MicroFet2. BAA revealed a bias of -10% , with a Pearson correlation of $r = 0.74$ and a SEM of 12% . Comparison of measurement devices in the side-lying position showed significant differences between the ISOMED and MicroFet2, but an excellent correlation ($r = 0.91$). BAA indicated that the MicroFet2 overestimated ISOMED values by 4% . Significant differences were also found between the MicroFet2 and DynamoMax in the sitting position, having an excellent correlation ($r = 0.97$). The DynamoMax produced values 3% higher than the MicroFet2. Correlations between the MicroFet2/DynamoMax (sitting) and ISOMED were $r = 0.78$, with biases of -7% and -3% , and SEMs of 15% and 12% , respectively.

Discussion: This study demonstrates that 1D force sensors are a highly reliable alternative to isokinetic devices. A major advantage of our study is that strength measurements were performed simultaneously, minimizing athlete-related variability. The two force sensors (DynamoMax and MicroFet2) also showed excellent agreement; however, significant differences indicate that correction factors may be required when comparing devices. The influence of body position was greater than that of the measurement system. Still, with a correlation of $r = 0.74$ and an SEM below 12% , the side-lying position appears to be a suitable alternative to the seated position.

Notes: Partial funding by German Science Foundation (INST 41/1101-1 FUGG).

References

1. Frese et al, J Biomech, 177, 2024.
2. Goncalves et al, Peer J, 9, 2021
3. Du et al, Sensors, 2024



EFFECTS OF A HALF MARATHON ON PLANTAR VIBRATION PERCEPTION

Sally Kloß (1), Tina J. Drechsel (1), Thomas L. Milani (2), Frédéric Marin (1), Claudio Zippenfennig (1)

1. Movement Science for Prevention and Rehabilitation, Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany; 2. Biomechanics and Sensory Research Group, Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany

Introduction: The sole of the foot as the only connection between the runner and the ground has central sensory importance [1]. In demanding endurance activities such as a half marathon, specialized mechanoreceptors continuously provide sensory information for movement control [2]. However, little is known about how such running loads affect especially vibration perception [2,3]. The aim of this study was to analyse potential changes in Whole-Foot Vibration Perception Thresholds (WF-VPT) following a half marathon.

Methods: WF-VPT (30/200 Hz, representing Meissner and Pacinian corpuscles) was measured in 23 subjects (9 women, 14 men; age 32.0 ± 6.9 yrs) before and after a half marathon.

Results: Running a half marathon alters the sensory properties of the plantar surface. Specifically, frequency-dependent changes in WF-VPT were observed: After removing outliers ($\text{mean}_{\text{subject}} > Q_{75} + 1.5 \cdot \text{IQR}$, $n = 3$), a significant deterioration (reduced sensitivity) occurred at 30 Hz, whereas a significant improvement (increased sensitivity) was found at 200 Hz (Fig. 1).

Discussion: The frequency-specific changes in WF-VPT can be explained by distinct structural and functional characteristics of the involved receptors. Due to their superficial location, Meissner corpuscles (30 Hz) may be particularly susceptible to temporary desensitization [4]. In contrast, deeper Pacinian corpuscles (200 Hz) are structurally more complex, surrounded by lamellar layers that act as a high-pass filter and enhance sensitivity to high-frequency vibrations [5]. They likely play a more central role in sensory feedback during dynamic movements such as heel strike and toe-off than Meissner corpuscles [2]. The study provides fundamental insights and emphasizes the

need for further research on how long-distance running affects plantar sensory structures.

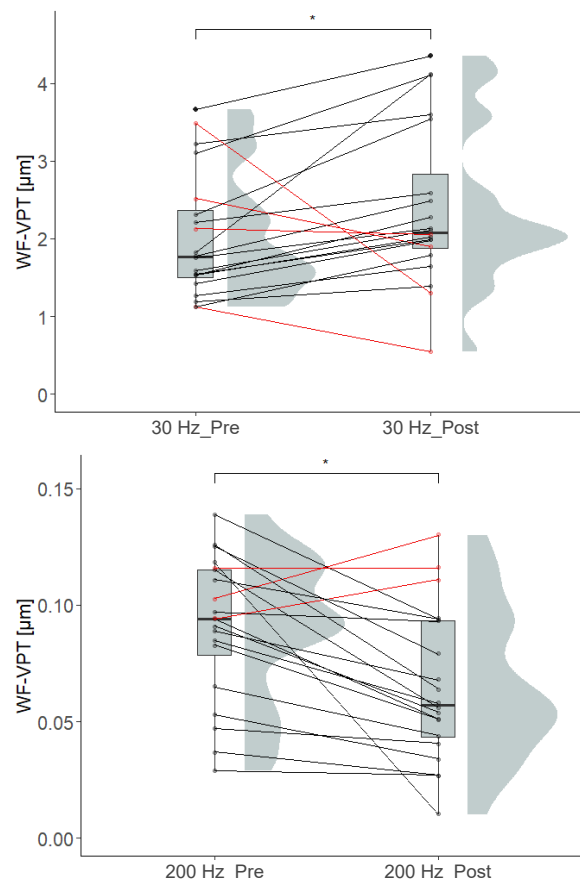


Fig. 1: WF-VPT at 30 Hz (above) and 200 Hz (below) before (pre) and after (post) a half marathon. The lines show individual changes; red lines indicate deviations from the overall trend. *significant difference

References

1. Nurse & Nigg, Clin Biom, 16:719-727, 2001
2. Katic et al, iScience, 26:105874, 2022
3. Alfuth & Rosenbaum, Neurosci Lett, 503:58-62, 2011
4. Rittweger(Hrsg), Handbuch für Vibrationstraining und Vibrationstherapie, Springer Cham, 2023
5. Chen et al, Sci Adv, 11:eadt5110, 2025



DER EINFLUSS EINER RÜCKENBELASTUNG AUF DIE GANGDYNAMIK

Lukas Verderber (1), Daniel Schmidt (1), Andresa M. C. Germano (1)

1. Motorik, Kognition und Neurophysiologie, Technische Universität Chemnitz, Germany

Einleitung: Körperliche Belastungen, wie das wiederholte Bewegen von Heben oder Lasten, können das Belastungsempfinden im unteren Rücken verändern und dadurch zur Schmerzentwicklung beitragen [1]. So können asymmetrische Muskelaktivierungsmuster auftreten [2]. Ziel dieser Studie war es, den Einfluss eines Belastungsprotokolls des unteren Rückens auf ausgewählte Gangparameter zu untersuchen.

Methode: Insgesamt wurden 102 Probanden in einer Prä-Post-Gangmessung untersucht. Die Interventionsgruppe (IG, n=56, 26.78±7.99 Jahre, 174,2 ±7,66 cm, 71,16 ±12,09 kg) führten ein definiertes Belastungsprotokoll durch (Abb. 1), während die Kontrollgruppe (KG, n=46, 36.13±9.82 Jahre, 174.64 ±8.42 cm, 73.75 ±10.71 kg) für den gleichen Zeitraum in standardisierter Position ruhte. Die Gangmessungen erfolgten mittels einer Druckverteilungsmessplatte (Version 1.18.40, zebris Medical GmbH, f=100 Hz). Für die statistische Analyse ($\alpha=0,05$) wurden die Gangparameter Geschwindigkeit, Kadenz, Schrittlänge, Standphase und Einbeinstandphase innerhalb und zwischen den Gruppen verglichen.



Abb. 1: Untersuchungsablauf

Ergebnisse: Die Prä- vs. Post-Mittelwerte (Tab. 1) zeigten, dass keiner der verglichenen Parameter signifikante Unterschiede (p -Wert $> 0,05$) aufwies, sowohl innerhalb der Gruppen (Prä vs. Post), als auch im Intergruppenvergleich (Prä vs. Prä; Post vs. Post).

Tab. 1: Übersicht Mittelwert $\pm$ Standardabweichung von IG und KG ($p > 0,05$), links (l), rechts (r)

Parameter	IG		KG	
	Prä	Post	Prä	Post
Geschwindigkeit, km/h	4.76 ± 0.51	4.68 ± 0.53	4.58 ± 0.62	4.63 ± 0.61
Kadenz, Schritte/min	112.39 ± 6.88	110.96 ± 7.11	111.23 ± 10.31	112.55 ± 10.75
Schrittlänge_l, cm	70.63 ± 6.51	70.22 ± 5.69	68.39 ± 6.47	68.45 ± 6.18
Schrittlänge_r, cm	70.27 ± 6.21	70.06 ± 6.07	68.77 ± 6.2	68.81 ± 5.65
Standphase_l, %	63.49 ± 1.63	63 ± 1.72	61.99 ± 1.78	62.12 ± 1.99
Standphase_r, %	63.03 ± 1.73	62.89 ± 1.7	63.41 ± 5.81	63.23 ± 5.78
Einbeinstandphase_l, %	36.97 ± 1.73	37.12 ± 1.7	37.5 ± 2.03	37.68 ± 2.13
Einbeinstandphase_r, %	36.66 ± 1.79	36.97 ± 1.8	38.04 ± 1.91	37.87 ± 2.16

Diskussion: Die Resultate dieser Studie widersprechen bisherigen Untersuchungen, welche bei muskulärer Ermüdung veränderte Gangmuster fanden [3]. Das Fehlen akuter Veränderungen könnte an der kurzen Belastungsdauer liegen. Obwohl Teilnehmende unmittelbar nach der Belastung ein Missempfinden im unteren Rücken angaben, scheinen ähnliche Belastungen erst langfristig durchgeführt Gangparameter zu beeinflussen. Zudem weisen beide Gruppen einen aktiven Lebensstil auf, wodurch vergleichbare Alltagsbelastungen bestehen. Um den Einfluss des Rumpfes, insbesondere des unteren Rückens, auf die Gangfähigkeit genauer zu erfassen, ist weitere Forschung erforderlich.

Hinweise: Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushalts.

Referenzen

1. Bergmann et al, Spine, E1204-1211, 2017.
2. Renkawitz et al, The Spine J, 673-683, 2006.
3. Chun et al, Spine J, 1180-1191, 2017.



EXERCISE-BASED ENHANCEMENTS IN TRICEPS SURAE MUSCLE–TENDON UNIT CAPACITY ON TENDON MECHANICAL DEMAND DURING PLYOMETRIC TASKS

Mohamadreza Kharazi (1), Yiannis Lambrianides (2), Gaspar Epro (2) and Kiros Karamanidis (1,2)

1 Department of Sport Science, Faculty for Mathematics and Natural Sciences, University of Koblenz, Koblenz, Germany; 2 School of Allied Health and Life Sciences, College of Health and Life Sciences, London South Bank University, London, United Kingdom

Introduction: Muscles and tendons respond differently to mechano-metabolic stimuli, with tendons requiring high mechanical loads (4.5-6.5% strain) for optimal adaptation, while muscles adapt well to high metabolic stress even at moderate mechanical load [1]. Given that tendon stiffness influences contractile dynamics during locomotion [2], we aimed to assess whether a mechano-metabolic exercise-induced increase in triceps surae (TS) muscle strength, with or without changes in Achilles tendon (AT) stiffness, affect tendon mechanical demand (experienced tendon strain and force during plyometric tasks).

Methods: Twelve healthy young adults completed 12 weeks of resistance training with cyclic fatiguing isometric plantarflexion contractions (3 sets at 80% MVC) to induce high metabolic stress. Magnitude of mechanical loading varied with exercising one leg in dorsiflexed (DF: high mechanical load and tendon strain, ~6%), and the other in plantarflexed position (PF: low mechanical load and tendon strain, ~2%). Pre- and post-exercise TS biomechanical properties at rest and TS muscle-tendon unit (MTU) kinetics during various jumping tasks (unilateral maximum forward jump, drop jump and hopping as well as bilateral drop jump) were assessed using MRI, motion capture, dynamometry and ultrasonography. AT strain was measured from the curved displacement of the gastrocnemius medialis tendon [3].

Results: Comparable exercise-related increase was identified for high-load (DF) and low-load (PF) legs in muscle strength (DF ~21% and PF ~25%) and muscle volume (DF ~6% and PF ~7%). In contrast, AT stiffness increased only in the DF leg (~13%). During all plyometric tasks, no significant changes were observed in maximal AT strain in either of the legs (Fig. 1). No modifications were identified also

in peak Achilles tendon force during plyometric tasks, independent of the analysed leg (mean range 3900–4500 N).

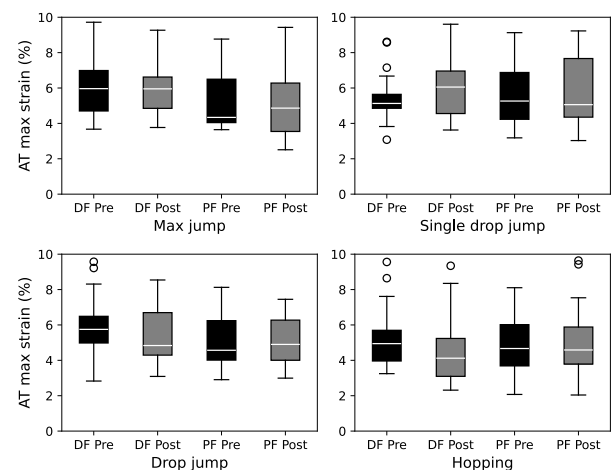


Fig. 1: Maximum AT strain pre vs. post TS MTU exercise for the low (PF) and high (DF) mechanical loading leg during the different plyometric tasks.

Discussion: Despite the discrepancies between muscle and tendon responsiveness to mechano-metabolic stress leading to similar ~20–25% improvement in muscle strength in both legs and a ~13% increase in tendon stiffness only in the DF leg, no alteration in tendon mechanical demand was observed (unchanged AT force and strain during plyometric tasks). However, due to the exercise-related increases in muscle strength and volume, a lower relative active muscle volume may be required to produce force, potentially leading to an imbalance between muscle and tendon mechanical demand during plyometric activities.

References

- 1) Lambrianides et al., J Strength Cond Res, 36(11): 3246–3255, 2022.
- 2) Kubo et al., J Appl Physiol, 110(3): 507-514, 2010.
- 3) Kharazi et al., Sci Rep, 11(1): 5839, 2021.



AUSWIRKUNG EXTERNER SCHLAGKRAFT AUF DIE INTERNE BELASTUNG DER KOPF-NACKEN-REGION IM BOXEN

Carola Birk (1), Talha Üzümcü (1), Wolfgang Potthast (1), Igor Komnik (1,2)

1. Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Biomechanik und Orthopädie, Köln, Deutschland 2. Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Bewegungs- und Sportgerontologie, Köln, Deutschland

Einleitung: Trotz der hohen Prävalenz von Kopf- und Nackenverletzungen im Box- und Kampfsport weisen Risikoanalysen erhebliche methodische Defizite auf. Bestehende Ansätze stützen sich primär auf rein kinematische Kriterien (z. B. HIC), die die tatsächlichen, intern wirkenden Gelenkbelastungen in der Halswirbelsäule (HWS) nicht erfassen [1]. Ziel dieser Studie war es, erstmals die durch Kopftreffer im Boxsparring induzierten internen Gelenkmomente in der Kopf-Nacken-Region (KNR) zu quantifizieren und den Zusammenhang zur externen Schlagkraft zu analysieren.

Methoden: Elf Amateurboxer (9m/2w) nahmen an kontrollierten Sparringkämpfen (ca. 20 % Maximalkraft) teil. Es wurden markerbasierte 3D-Bewegungsanalysedaten erfasst und die 3D-Schlagkräfte aus den kinematischen Daten und der effektiven Masse berechnet. Die Daten wurden in ein muskuloskelettales Kopf-Nacken-Modell [2] in OpenSim integriert und das Modell individuell skaliert. Die Netto-Gelenkmomente in der oberen (Schädel–C1, C1) und unteren (C2–Th1, C2) HWS wurden für die drei Freiheitsgrade (Roll, Yaw, Pitch) inverse-dynamisch berechnet. Für jeden Treffer wurden das maximal resultierende Gelenkmoment (M_{C1} , M_{C2}) und die Peak-Schlagkraft (F_{max}) berechnet. Der Zusammenhang zwischen F_{max} und M_{C1}/M_{C2} wurde mittels eines linearen Mixed-Effects-Modells analysiert:

$$M_{res} \sim 1 + F_{max} * \text{Gelenk} + (1|\text{Proband}) \quad (1)$$

Ergebnisse: Insgesamt wurden 45 Kopf-Treffer analysiert. Im Mittel betrug $F_{max} = 449.45 \pm 279.03 \text{ N}$, $M_{C1} = 16.72 \pm 9.76 \text{ Nm}$ und $M_{C2} = 6.58 \pm 3.62 \text{ Nm}$. Für C1 zeigte sich ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen F_{max} und M_{C1} ($\beta_{C1} = 0.011 \text{ [Nm/N]}$, $p = 0.004$), wohingegen für C2 kein signifikanter Zusammenhang gefunden wurde ($\beta_{C2} \approx -0.0005 \text{ [Nm/N]}$, $p > 0.05$). Die Interaktion $F_{max} \times \text{Gelenk}$ war signifikant ($\beta =$

-0.0115 [Nm/N] , $p = 0.033$). Das Modell erklärte $R^2 = 0.38$ der Varianz.

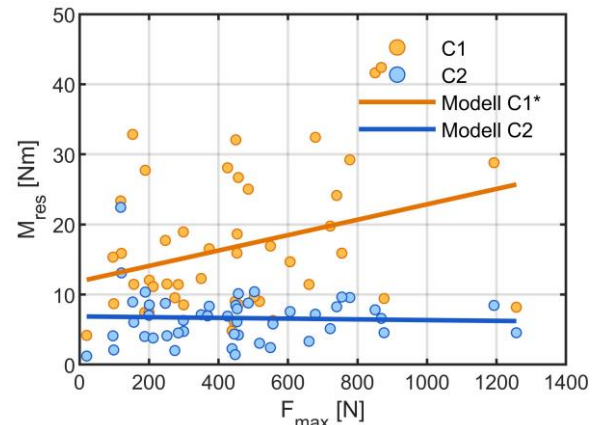


Fig. 1: Zusammenhang zwischen F_{max} und M_{C1} (orange) und M_{C2} (blau).

Diskussion: Bereits Schläge im niederintensiven Bereich erzeugen substanzielle Gelenkmomente, insbesondere im oberen HWS-Gelenk. Die externe Schlagkraft erklärt nur einen Teil der Varianz der HWS-Belastung. Dies deutet darauf hin, dass die Gelenkmomente zusätzlich durch die Variabilität der Schläge im Sparring (z.B. Trefferrichtung) und interne biomechanische Faktoren wie der Gelenk-Kopplungseffekt mitbestimmt werden. Dieser könnte erklären, warum für das untere HWS-Gelenk (C2) kein signifikanter Zusammenhang zwischen F_{max} und M_{C2} gefunden wurde.

Hinweise: Die Autor*innen erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Referenzen:

1. Komnik I, Romero E, Potthast W. Quantifying load in the head and neck region and its impact on long and short term head injuries in combat sports. In: eProceedings of the 9th World Congress of Biomechanics. 2022.
2. Mortensen J, Vasavada A, Merryweather A. The inclusion of hyoid muscles improve moment generating capacity and dynamic simulations in musculoskeletal models of the head and neck. PloS one. 2018;13(6):e0199912.



CURVED DECELERATIONS RESULT IN GREATER FRONTAL-PLANE KNEE LOADING THAN STRAIGHT-LINE TASKS

Lucas Galmiche (1,2), Uwe G Kersting (1,3), Kevin Bill (1,4).

1. Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University Cologne, 50933 Cologne, Germany; 2. VALD Pty Ltd, Brisbane, 4006 QLD, Australia; 3. Department of Health Science and Technology, Aalborg University, 9260 Gistrup, Denmark; 4. adidas AG, 91074 Herzogenaurach, Germany

Introduction: Non-contact anterior cruciate ligament (ACL) injuries often occur during rapid decelerations and change-of-direction tasks [1]. Although most high-intensity movements in team sports follow curved trajectories [2], the biomechanical consequences of curvilinear deceleration remain unclear. This study examined whether curved decelerations increase frontal-plane knee loading associated with ACL injury risk compared with straight-line tasks.

Methods: Twelve healthy, recreationally active males performed three maximal deceleration tasks in randomized order: (1) straight-line sprint and deceleration (Straight:Straight), (2) curved sprint with straight-line deceleration (Curved:Straight), and (3) curved sprint with curved deceleration (Curved:Curved). Three-dimensional motion capture and embedded force plates were used to compute center of mass (COM) velocity, peak external knee abduction moment (KAM), resultant ground reaction force (GRF), and frontal-plane moment arm. Repeated-measures ANOVAs with Bonferroni-corrected post-hoc tests assessed differences across tasks ($\alpha = 0.05$).

Results: COM velocity prior to deceleration was similar across tasks ($p = 0.36$). Peak KAM was significantly greater during Curved:Curved compared with both Curved:Straight ($p = 0.007$, $dz = 1.13$) and Straight:Straight ($p = 0.036$, $dz = 0.87$). The resultant GRF did not differ significantly between tasks ($p = 0.056$), whereas the frontal-plane moment arm was significantly longer in Curved:Curved ($p = 0.004$, $dz = 1.04$) (Fig. 1).

Discussion: Curved deceleration, independent of approach trajectory, increased knee joint loading through longer frontal-plane moment arms despite comparable entry velocities. These findings identify

curvilinear deceleration as an underexplored game situation that may contribute to non-contact ACL injury mechanisms and support the inclusion of curved braking drills in athlete screening and injury mitigation programs.

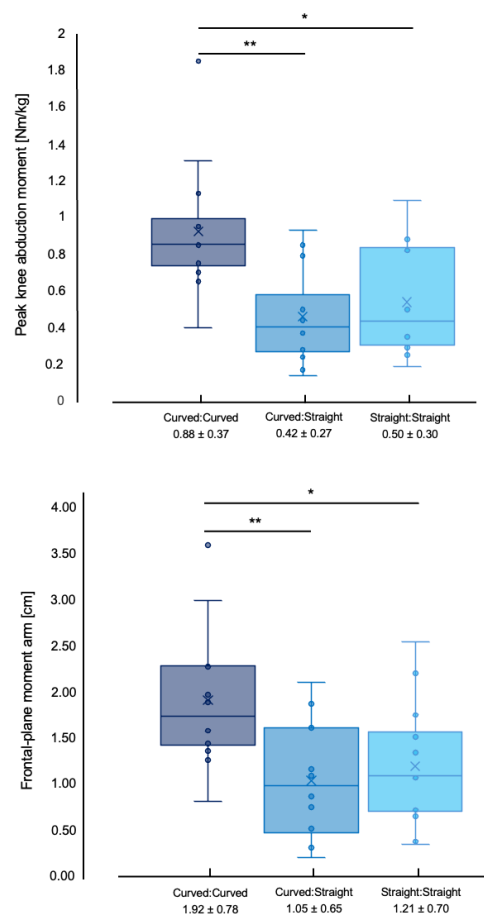


Fig. 1: Peak KAM and frontal-plane moment arm across deceleration tasks. $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ ()**

References

1. Della Villa F et al, Br J Sports Med, 54:1423-1432, 2020.
2. Caldebeck P & Dos'Santos T, J Sports Sci, 40:2669-2680, 2022.



STADIE BESTIMMUNG DER ACHSE DES UNTEREN SPRUNGGELENKS: EIN METHODENVERGLEICH

Anja Seeger (1) , Sarah Angelmaier (2), Wilfried Alt (1)

1. Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland; 2. Institut für Biomedizinische Technik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Einführung: Die Subtalarachse (STA) wurde bereits mit Belastungs- und Verletzungsmechanismen des Sprunggelenks und der Achillessehne in Verbindung gebracht [1]. Daher ist eine valide Bestimmung der STA-Orientierung (*Deviation* und *Inklination*) notwendig. Die in der Literatur beschriebenen Messverfahren basieren einerseits auf Bewegungsanalysen der Inversions-Eversions-Bewegung und andererseits auf einer Analyse der Gelenkflächen über bildgebende Verfahren. Ein direkter Vergleich dieser Ansätze wird bisher wenig thematisiert. In dieser Studie werden erste Ergebnisse für den Vergleich einer funktionsbasierten und einer strukturbasierten Bestimmung per MRT vorgestellt.

Methoden: Für 18 Versuchspersonen wurden je 3 MRT-Aufnahmen des rechten Fußes angefertigt: in 15° Eversion, in Neutralstellung und in 20° Inversion. Calcaneus und Talus werden für alle 3 Aufnahmen segmentiert und in ein 3D-Format überführt. Die Berechnung der strukturbasierten STA erfolgt nach den Verfahren nach Parr et al. [2] und Montefiori et al. [3], welche auf einer Annäherung der Gelenkflächen durch Sphären basieren (Abb. 1). Für die funktionsbasierte Bestimmung werden die Knochen aus Eversions- und Inversionsmessung über einen ICP-Algorithmus referenziert (Abb. 1). Es folgt die Ermittlung jener Punkte an den Calcanei, die von Eversions- zu Inversionsstellung am wenigsten bewegen. Durch diese wird mittels PCA eine Ausgleichsgerade, die STA, gelegt. Die Berechnung von *Deviation* und *Inklination* erfolgt in Bezug auf ein Referenzkoordinatensystem, das anhand des Fußes aus der Neutralmessung nach Manter [4] definiert wurde. Der Pearson-Korrelationskoeffizient wurde für *Deviation* und *Inklination* für folgende Bedingungen berechnet: funktionsbasiert vs. Parr, funktionsbasiert vs.

Montefiori, Parr vs. Montefiori. Weiterhin wurde der ICC(A,1) für eine Überprüfung der absoluten Übereinstimmung ermittelt (Tab. 1).

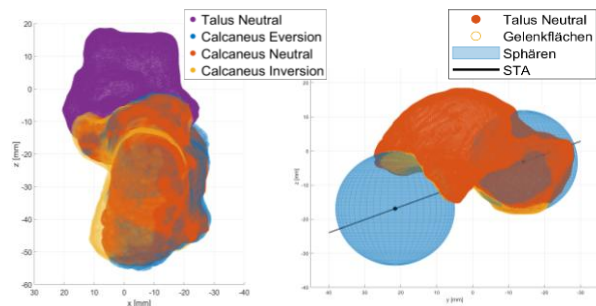


Abb. 1: links: Ergebnis des ICP-Algorithmus, rechts: STA-Berechnung nach Parr et al.

Ergebnisse: Sowohl für die *Deviation* als auch für die *Inklination* ergaben sich für alle Vergleiche eine sehr hohe bis extrem hohe Korrelation sowie eine gute Reliabilität des ICC(A,1).

Tab. 1: Pearson-Korrelation zwischen den verschiedenen Messverfahren und ICC(A,1).

	funk. vs. Parr	funk. vs. Montefiori	Parr vs. Montefiori	ICC(A,1)
Dev	0,91	0,86	0,95	0,81
Ink	0,80	0,90	0,83	0,76

Diskussion: Alle drei Methoden ergaben ähnliche Ergebnisse für *Deviation* und *Inklination*. Der ICC(A,1) weist auf eine gute Übereinstimmung hin. Eine weiterführende Auswertung wird eine genauere Einschätzung der Vergleichbarkeit ermöglichen. Zudem wäre eine zusätzliche STA-Bestimmung nach Conci et al. [5] sinnvoll.

Referenzen

1. Alt, C. Maurer, 1. Aufl., 2001.
2. Parr et al., J Biomech, 45(6):1103-1107, 2012.
3. Montefiori et al., J Biomech, 85:27-36, 2019.
4. Manter, Anat Rec, 80(4): 397-410, 1941
5. Conconi et al., J. Foot Ankle Res, 14(1), 2021



BIOMECHANISCH-FUNKTIONELLE PARAMETER ZUR BEURTEILUNG DER FUß-FUNKTION NACH TIBIOTALAREN ARTHRODESEN

Isabella Klöpfer-Krämer (1,3), Andreas Brand (1,3), Inga Kröger (1,3), Johannes Gabel (2),
Markus Beck (2), Peter Augat (1,3).

1. Institut für Biomechanik, BG Unfallklinik Murnau, Deutschland; 2. Abteilung für Fußchirurgie, BG Unfallklinik Murnau, Deutschland; 3. Paracelsus Medizinische Privatuniversität, Institut für Biomechanik, Salzburg, Österreich;

Einleitung: Bei fortgeschrittener Arthrose des oberen Sprunggelenks bleibt nach Ausschöpfen konservativer Therapien zumeist nur noch die Versteifung (Arthrodese) des Gelenkes, als letzte Behandlungsoption. Ziel dieser prospektiven Studie ist es, den präoperativen Zustand der PatientInnen vor einer Versteifungsoperation zu erfassen und das funktionelle sowie subjektive Outcome nach Arthrodese des oberen Sprunggelenks zu definierten Zeitpunkten zu evaluieren.

Methoden: In die multizentrische Studie (BG Unfallklinik Murnau, BG Klinik Ludwigshafen) sollen insgesamt n=60 PatientInnen eingeschlossen werden und zu den Zeitpunkten prä-operativ, 6 Monate und 12 Monate post-operativ nachuntersucht werden. Eingesetzte Messverfahren sind dabei die markerbasierte Ganganalyse, Pedobarographie, Aktivitätstracking, ärztliche Untersuchung, sowie Erhebung des SF-36, EQ-5D und AOFAS.

Ergebnisse: Bisher konnten n=35 PatientInnen rekrutiert werden, n=29 haben den 6 Monate und n=22 den 12 Monate Follow-Up - Termin durchlaufen. Deskriptiv zeigte sich nach Arthrodese eine Reduktion des Schmerzes auf der NRS-Skala in Ruhe von 3 ± 3 (prä-OP) auf 2 ± 2 (12 Mo post-OP) und unter Belastung von 7 ± 2 auf 4 ± 2 . Der EQ-5D Indexwert verbesserte sich von $0,53 \pm 0,2$ (prä-OP) auf $0,75 \pm 0,1$ (12 Mo post-OP), der modifizierte AOFAS Summenwert [%] von 38 ± 17 (prä-OP) zu 69 ± 17 (12 Mo post-OP). Die deskriptive Darstellung der Daten aus der markerbasierten Ganganalyse zeigte durch die Versteifung keine relevante Reduktion der sagittalen Range of Motion (ROM) in der Standphase, zwischen

Rückfuß und Tibia (HFTib). Dabei ergab sich keine Veränderung der ROM von Dorsalextension (DE) / Plantarflexion (PF) von prä-OP ($14,1^\circ \pm 4,1^\circ$) zu 12 Monate post-OP ($13,8^\circ \pm 4,2^\circ$). Auch zwischen Vorfuß und Rückfuß (FFHF) veränderte sich die ROM der Standphase in Richtung DE/PF von prä-OP ($9,3^\circ \pm 3,4^\circ$) zu 12 Monate post-OP ($9,2^\circ \pm 4,1^\circ$) nicht.

Diskussion: Die ersten Ergebnisse der markerbasierten Ganganalyse zeigen, dass trotz der Versteifung des oberen Sprunggelenkes die Bewegung im HFTib nicht relevant reduziert ist. Vermutlich wird dies durch das untere Sprunggelenk kompensiert, welches eine Beweglichkeit in DE/PF von ca. $7 \pm 3^\circ$ ermöglicht [1,2]. Sowohl die Scores als auch das Schmerzempfinden verbesserten sich 12 Monate post-OP im Vergleich zum prä-OP Zustand deutlich.

Hinweise: Diese Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e.V. (DGUV) unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Auto

Referenzen

1. Lundgren et al., Gait & Posture, 28: 93–100, 2008.
2. Lenz et al., J Bone Joint Surg Am, 102:600-608, 2020.



KLINISCH-BIOMECHANISCHE BEURTEILUNG UNTERSCHIEDLICHER BELASTUNGSFREIGABEN NACH TIBIASCHAFTFRAKTUREN

Inga Kröger (1,2), Andreas Brand (1,2), Julian Fürmetz (3), Bernhard Gonschor (4), Tobias Hentschel (4), Isabella Klöpfer-Krämer (1,2), Peter Augat (1,2).

1. Institut für Biomechanik, BG Unfallklinik Murnau, Murnau am Staffelsee, Deutschland
2. Institut für Biomechanik, Paracelsus Medizinische Privatuniversität, Salzburg, Österreich
3. Abteilung für Sporttraumatologie und Arthroskopische Chirurgie, BG Unfallklinik Murnau, Murnau am Staffelsee, Deutschland
4. Abteilung für Unfallchirurgie, Klinikum Garmisch-Partenkirchen, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland

Fragestellung: Nach operativer Frakturversorgung besteht in vielen Fällen Unklarheit über das optimale postoperative Belastungsregime. So zeigen Patienten mit unilateraler Tibiaschaftfraktur auch 6 Monate nach postoperativer Teilbelastung (TB) noch signifikante funktionelle Einschränkungen [1]. Ziel dieser Studie war es den Einfluss einer schmerzadaptierten gegenüber einer standardisierten TB auf klinische, radiologische und biomechanische Parameter nach Tibiaschaftfraktur zu untersuchen.

Methoden: In einer prospektiven Kohortenstudie wurden 22 Patienten mit unilateraler Tibiaschaftfraktur (AO42-A-C) untersucht, die eine schmerzadaptierte Belastungsvorgabe (SB) erhielten. Zwei, 3 und 6 Monate postoperativ wurden makerbasierte Ganganalysen durchgeführt und die Kräfte der Knieextensoren und Plantarflexoren gemessen. Der radiologische Heilungszustand wurde über den RUST-Score beurteilt. Die Daten wurden mit einem vergleichbaren Patientenkollektiv mit 20-kg TB sowie einem gesunden Normkollektiv (je N=22) verglichen. Da die Nachuntersuchungen der Patientenkohorte noch nicht abgeschlossen sind erfolgt die Ergebnissdarstellung rein deskriptiv.

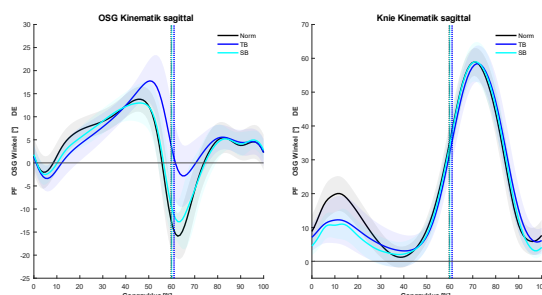


Fig. 1: Kinematik der 3 Gruppen 3 Monate post OP

Ergebnisse: Der RUST-Score zeigt in beiden Patientengruppen nach zwei Monaten eine vergleichbare noch unvollständige Heilung (5-8 Punkte). In der biomechanischen Analyse normalisierte sich die Schrittlängensymmetrie in der SB-Gruppe bereits nach drei, in der TB-Gruppe erst nach sechs Monaten. Auch die Ganggeschwindigkeit erreichte in der SB-Gruppe bereits nach sechs Monaten nahezu physiologische Werte. Beide Patientengruppen zeigten über den gesamten Beobachtungszeitraum ein deutliches Flexionsdefizit im Kniegelenk, vermutlich infolge einer reduzierten Quadrizepskraft. Die SB-Gruppe erreichte nach sechs Monaten 85 % der Quadrizepskraft der Gegenseite und bereits nach drei Monaten eine nahezu physiologische Sprunggelenkkineematik. (Fig. 1).

Diskussion: Die vorläufigen Ergebnisse weisen auf einen funktionellen Vorteil einer schmerzadaptierten Belastungsfreigabe hin, ohne Anzeichen einer verzögerten Frakturheilung. Um die beobachteten Trends zu bestätigen müssen die Daten des vollständigen Kollektivs statistisch ausgewertet werden. Klinisch könnte eine frühzeitige, schmerzadaptierte Belastung die funktionelle Rehabilitation beschleunigen und Mobilität sowie Muskelkraft im Heilungsverlauf verbessern.

Notes: Diese Studie wurde von der Osteosynthese & Trauma Care (OTC) Foundation finanziell unterstützt.

References

1. Kröger et al., Gait & Posture, 91:66-72, 2022.



REGULATION DER SOLEUS MUSKELSTEIFIGKEIT DURCH SKALIERTE AKTIVIERUNG ZUR BEWÄLTIGUNG UNVORHERSEHBARER UND ERWARTBARER GANGSTÖRUNGEN

Sebastian Bohm (1,2), Morteza Ghasemi (1,2), Christos Theodorakis (1,2), Falk Mersmann (1,2), Thomas Roberts (3), Adamantios Arampatzis (1,2)

1. Humboldt-Universität zu Berlin, Department of Training and Movement Sciences, Berlin, Deutschland;
2. Berlin School of Movement Science, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland;
3. Brown University, Division of Biology and Medicine, Providence, United States

Einleitung: Bei Niederschrittstörungen des Ganges muss die Energie des Körpers (CoM) reaktiv von den Beinmuskeln absorbiert werden [1]. Ziel der Studie war die Untersuchung der Interaktion der elektromyografischen Aktivität (EMG) des Soleus, Entkopplungsmechanismen der Muskel-Sehnen-Einheit (MTU) und Kontraktionsbedingungen für das CoM-Energiemanagement bei Gangstörungen.

Methoden: Während des ungestörten Gehens sowie unvorhersehbarer und erwartbarer Niederschrittstörungen wurde die Körperkinematik, Soleus Muskelfaserlänge und EMG Aktivität gemessen und CoM-Gesamtenergie berechnet. Die Kraft-Geschwindigkeits- und Kraft-Längen-Relation wurde bestimmt, um das Kraft-Längen-Geschwindigkeits-Potenzial zu bewerten.

Ergebnisse: Die Spannbreite der CoM-Energie in der Standphase des ungestörten Gehens war gering aber vergrößert in beiden Störungen ($p < 0,05$). Infolge der unvorhersehbaren Störung nahm die EMG Aktivität rapide zu und trotz einer MTU Längenzunahme arbeiteten die Muskelfasern annähernd isometrisch nahe der optimalen Länge in der Energieabsorptionsphase (Abb. 1). In der erwartbaren Störung, waren erfahrungsbasierte Anpassungen der EMG Aktivität begleitet von einer aktiven Faserlängenzunahme nach initial isometrischer Kontraktion (Abb. 1). Die hohe EMG Aktivität in der unvorhersehbaren Störung war mit einer nicht signifikant zu Null unterschiedlichen Fasergeschwindigkeit assoziiert ($p > 0,05$) und das Intervall mit einer zu Null unterschiedlichen Fasergeschwindigkeiten (9-21 %Stand) während der erwartbaren Störung mit der Abnahme der EMG Aktivität (Abb. 2). Dementsprechend war das Kraft-Längen-Geschwindigkeits-Potenzial während beiden Gangstörung hoch (0,89 bzw. 0,98).

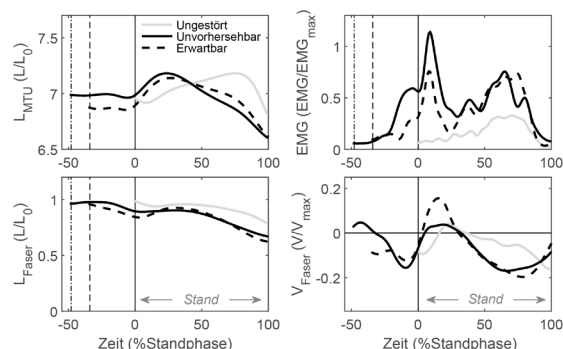


Abb. 1: Soleus-MTU-Länge, EMG Aktivität sowie Faserlänge und -geschwindigkeit während des ungestörten Ganges und unvorhersehbarer und erwartbarer Niederschrittstörung.

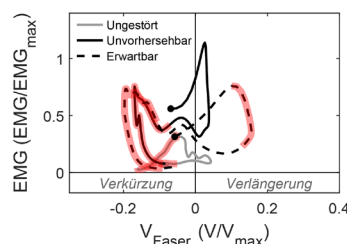


Abb. 2: EMG-Fasergeschwindigkeit-Relation (Punkte zeigen Fußaufsatz). Intervalle mit Unterschied zu Null in hellrot (SPM{t}, $p < 0,05$).

Diskussion: Bei der unvorhersehbaren Störung versteifte die reaktive Aktivierung den Muskel und entkoppelte damit die Fasern von der MTU durch die Sehne zugunsten eines isometrischen Faserverhaltens und MTU Energiekonservierung. In der erwartbaren Störung regulierte eine skalierte Aktivierung die Muskelsteifigkeit und so die Entkopplung zum Vorteil einer kontraktiven Energieabsorption und Sehnenenergiepufferung.

Hinweise: Gefördert durch die DFG (513866416).

Referenzen

1. Daley et al, J Exp Biol, 209:171-187, 2006.



GEHEN IN DER EBENE - BELASTUNG DES BEWEGUNGSAPPARATES IN ABHÄNGIGKEIT DER AMPUTATIONSHÖHE

Eva Pröbsting (1), Thomas Schmalz (1), Malte Bellmann (1,2)

1. Clinical Research and Services,, Ottobock SE & Co. KGaA, Göttingen, Germany; 2. HAWK University of Applied Sciences and Arts, Göttingen, Germany.

Einleitung: Die Gangcharakteristik von Amputierten mit Prothese weicht vom normalen Gangbild ab [1, 2]. Es gibt Hinweise, dass Amputierte den Verlust eines oder mehrerer Gelenke durch erhöhte Kräfte und Gelenkmomente am Sprunggelenk, Knie- und Hüftgelenk der kontralateralen Seite kompensieren [1, 3]. Allgemein scheint die Amputationshöhe diese Gangabweichungen zu beeinflussen, doch nach Kenntnis der Autoren wurde in keiner Studie die kontralaterale Belastung systematisch für mehr als zwei verschiedene Amputationshöhen analysiert. Daher war das Ziel dieser Studie die Belastung des Bewegungsapparates beim ebenen Gehen von unilateral Unter- (TT) und Oberschenkelamputierten (TF) sowie Hüftexartikulierten (HD) zu analysieren.

Methoden: Seit 2002 werden in unserem Ganglabor Ganganalysen mit Amputierten durchgeführt. Die Ganganalysedaten wurden mit einem optoelektronischen Kamerasystem (Messfrequenz 100 Hz bis 2013 und anschließend 200 Hz) und zwei Kraftmessplatten (Messfrequenz 1000 Hz) erfasst. Die Datenerhebung für diese Studie erfolgte retrospektiv aus diesem Datenpool. Insgesamt konnten Ganganalysedaten von 44 TTs, 30 TFs und 8 HDs für die Analyse verwendet werden. Zur Auswertung wurden ausgewählte Kniebelastungsparameter der kontralateralen Seite (Maximales Knieadduktions-, Knieflexions- und Knieextensionsmoment, Maximum der vertikalen Bodenreaktionskräfte, Kraftrate) herangezogen.

Ergebnisse: Mit zunehmender Amputationshöhe nimmt die Gehgeschwindigkeit ab und die Asymmetrie der Standphasendauer zu. Mit zunehmender Amputationshöhe nehmen zudem Knieadduktions- und Knieextensionsmomente tendenziell zu, während die Knieflexionsmomente abnehmen. Je höher das

Amputationsniveau, desto schneller steigt die vertikale Bodenreaktionskraft der kontralateralen Seite bei Lastübernahme an. Dies wird an der signifikant erhöhten Kraftrate in den ersten 5 % des GC deutlich.

Die mittleren Kurvenverläufe der Hauptbewertungsparameter aller drei Amputationshöhen sind in Abbildung 1 dargestellt.

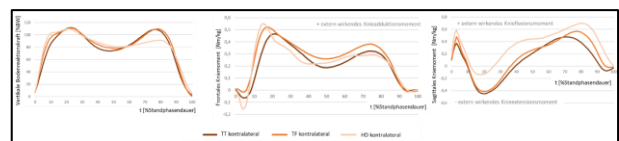


Abb. 1: Kontralateraler Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskräfte (links), externen frontalen Kniemomente (Mitte) und sagittalen Kniemomente (rechts), gemittelt für alle drei Amputationshöhen und auf die Standphasendauer normiert

Diskussion: Mit zunehmender Amputationshöhe wirkt auf der kontralateralen Seite eine tendenziell höhere Belastung über einen deutlich längeren Zeitraum. Zudem erfolgt die Kraftübertragung deutlich schneller. Aus diesen Befunden kann geschlossen werden, dass die Belastung des kontralateralen Beines mit zunehmender Amputationshöhe insgesamt deutlich zunimmt. Diese höhere Belastung könnte die höhere Prävalenz von Kniearthrose [4] mit zunehmendem Amputationsniveau erklären.

Referenzen

1. Schmid et al, Gait Posture 21:255-62, 2005.
2. Heitzmann et al, OT 64:14–19, 2013.
3. Jarvis et al, Ann Phys Rehabil Med. 64:101395, 2021
4. Pröbsting et al, Z Orthop Unfall, 155:77-91, 2017



WIE BEEINFLUSST HYDRIERUNG DIE BIOMECHANIK ZERVIKALER BANDSCHEIBEN? EINE IN-VITRO-STUDIE

Ann-Kathrin Greiner-Perth (1), Morten Vogt (1), Christian Liebsch (1), Hans-Joachim Wilke (1)

1. Institut für Unfallchirurgische Forschung und Biomechanik, Universitätsklinikum Ulm

Einleitung: Die Hydratierung von Bandscheiben (BS) variiert im Tag-Nacht-Rhythmus: Mechanische Belastung führt tagsüber zur Flüssigkeitsabgabe, nachts erfolgt die Rehydratierung. In der Schwerelosigkeit ist diese Balance gestört, was zu einem extremen Quellen der BS führen kann und das erhöhte Risiko zervikaler Bandscheibenvorfälle bei Astronauten begründen könnte [1]. Der biomechanische Einfluss der Hydratierung auf die Halswirbelsäule (HWS) ist jedoch unklar. Ziel dieser Studie war daher, der Effekt von physiologischer und hyperphysiologischer Hydratierung zervikaler BS auf den intradiskalen Druck (IDP), den Bewegungsumfang (ROM), die neutrale Zone (NZ) und die Bandscheibenhöhe (BSH) zu untersuchen.

Methoden: Zwölf humane zervikale Bewegungs-segmente (3 x C3-C4, 6 x C5-C6, 3 x C6-C7; 17-42 J.; 2 w / 10 m) wurden hinsichtlich segmentalen Levels randomisiert. Zur Simulation der Rehydratierung wurde Gruppe 1 (n = 6) für 8 h unter 10 N in 0,9%-NaCl-Lösung hydratiert. Für die Hyperhydratierung wurde Gruppe 2 (n = 6) für 24 h unbelastet in destilliertem Wasser hydratiert. Der IDP wurde mit einem faseroptischen Drucksensors bestimmt. ROM, NZ und IDP wurden vor und nach dem Quellen mittels reiner Momente von 2,5 Nm bestimmt [2]. Die BSH wurde unter 100 N axialer Kompression ermittelt. Die statistische Analyse erfolgte mittels Wilcoxon-Tests in SPSS ($\alpha = 0,05$).

Ergebnisse: Der intrinsische IDP (unbelastet), der IDP während Belastung und die ROM blieben in Gruppe 1 unverändert ($p > 0,05$, Abb. 1). Die NZ reduzierte sich in Flexion/Extension (FE) signifikant um 10 % und in axialer Rotation (AR) um 31 % ($p < 0,05$). In Gruppe 2 stieg der intrinsische IDP um das 5-fache ($p < 0,05$). Während Belastung erhöhte sich der IDP in allen Bewegungsrichtungen signifikant ($p < 0,05$). Die ROM nahm in FE (-37 %) und in Seitneigung (SN) ab (-22 %). Die NZ nahm in allen drei Bewegungsrichtungen signifikant ab

($p < 0,05$; FE: -70 %, SN: -54 %, AR: -41 %). Die BSH nahm in Gruppe 2 signifikant um 0,7 mm zu ($p < 0,05$), während in Gruppe 1 keine Änderung festgestellt wurde ($p > 0,05$).

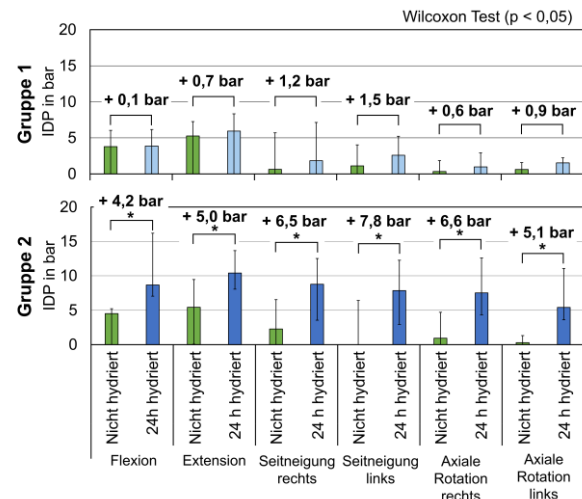


Abb. 1: Intradiskaler Druck (IDP) zervikaler Bandscheiben unter Belastung.

Diskussion: Hyperhydratierung verursacht eine starke Zunahme des IDP und reduziert die ROM sowie die NZ der HWS. Physiologische Hydratierung zeigt hingegen kaum Einfluss auf deren biomechanische Eigenschaften. Da der IDP als Indikator für die mechanische Belastung der BS gilt, könnte der durch Hyperhydratierung verursachte erhöhte IDP und die dadurch erhöhte Beanspruchung des Anulus fibrosus das gesteigerte Risiko für Bandscheibenvorfälle in der HWS bei Astronauten erklären [1].

Hinweise: Förderung durch die Deutsche Raumfahrtagentur (DLR, 50WB2424D).

Referenzen

1. Johnston et al., Aviat Space Environ Med, 81:566-574, 2010.
2. Wilke et al., Eur Spine J, 2:148-54, 1998.



ACHILLES SUBTENDON BEHAVIOUR AND FOOT BIOMECHANICS FOLLOWING RUPTURE: PRELIMINARY FINDINGS FROM HEEL-RISE ANALYSIS

**Andreas Brand (1,2), Inga Kröger (1,2), Honoka Ishihara (3), Markus Greinwald (1,2), Johannes Gabel (4)
Peter Augat (1,2)**

1. Institute for Biomechanics, BG Unfallklinik Murnau, Murnau, Germany; 2. Institute for Biomechanics, Paracelsus Medical University, Salzburg, Austria; 3. Department of Sports Rehabilitation, Hiroshima University, Hiroshima, Japan; 4. Foot & Ankle Surgery, BG Unfallklinik Murnau, Murnau, Germany.

Introduction: The Achilles tendon (AT) is composed of distinct muscle-specific subtendons that enable non-uniform displacements and differential force transmission to the foot [1]. Following AT rupture, severe impairments of foot function are common, often accompanied by morphological and mechanical changes of the tendon [2]. Little is known about how individual subtendons adapt after rupture and surgical repair. This study aims to investigate the isolated movement adaptations of different Achilles subtendons during dynamic plantar flexion of the foot following AT rupture.

Methods: AT movements of the medial (MG) and lateral gastrocnemius (LG) tendon portions were prospectively analysed in 10 patients with unilateral traumatic AT rupture (8M/2F; age 45 ± 11 y; BMI: 27 ± 2 kg/m²; AT rupture Score: 33/100), 10-12 weeks post-surgery. Synchronized motion capture and portable ultrasound were used, while repetitive bipedal heel-rise ankle plantarflexion at constant duration was analysed. Single subtendon elongation, sagittal ankle kinematics and weight bearing levels were compared intra-individually between the ruptured and intact side. As the data are preliminary, descriptive results are reported.

Results: At the ruptured side, more persistent subtendon elongation during the concentric plantar flexion phase was observed. Regarding peak elongation, the LG subtendon showed higher deviations during both, the concentric and eccentric phases compared to the MG subtendon (Fig. 1). Average ankle joint plantar flexion was 14° (range: $3-25^\circ$) for the healthy and involved side. Normalized weight-bearing (in % bodyweight) at the foot was markedly lower on the ruptured side (31%; range: 28–35%) compared to the intact side (66%; range: 62–69%).

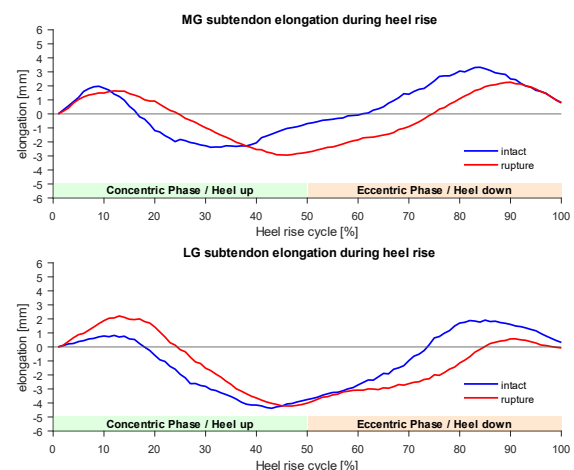


Fig. 1: Subtendon elongation during heel-rise, defined as length change from standing at rest.

Discussion: Preliminary findings indicate early functional adaptations of AT subtendons following trauma and surgical repair. Altered elongation patterns of ruptured subtendons, combined with reduced weight bearing at comparable ankle kinematics, is consistent with a change of biomechanical compliance (loss of stiffness) of the entire AT. Peak elongation further suggest heterogenous adaptations within the AT, with the LG subtendon appearing more susceptible to functional alterations than the MG subtendon. Additional data acquisition and analysis are required to confirm these observations and to determine their clinical significance.

Notes: This work is funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) – Project Number 552605231.

References

1. Handsfield et al, J Biomech, 51: 17-25, 2017
2. Khair et al, Clin Biomech, 92: 105568, 2022



STIMATION OF SUBTALAR JOINT PARAMETERS IN TYPICALLY DEVELOPED INDIVIDUALS USING A FUNCTIONAL METHOD

Anisha Mukherjee, Firooz Salami, Sebastian I. Wolf

Center for Orthopedics, Heidelberg University Hospital, Schlierb. Landstr. 200a, 69118 Heidelberg, Germany

Introduction: The aim of the study is to determine the tibiotalar joint and subtalar joint parameters (AJC parameters) in typically developed participants using a functional calibration method. Functional joint parameters will be determined using different functional calibration motions in weight-bearing (loaded) and non-weight-bearing (unloaded) conditions.

Methods: Data were collected from 15 typically developed adults (10 males, five females, age: 32.8 ± 7.6 yrs). The motion data were collected using a 12-camera Vero2.2 system (Vicon Motion Systems Ltd., Yarnton, Oxfordshire, UK) operating at 120 Hz. Markers were placed according to the Plug-In-Gait model [1] and the Heidelberg Functional Foot model [2,3].

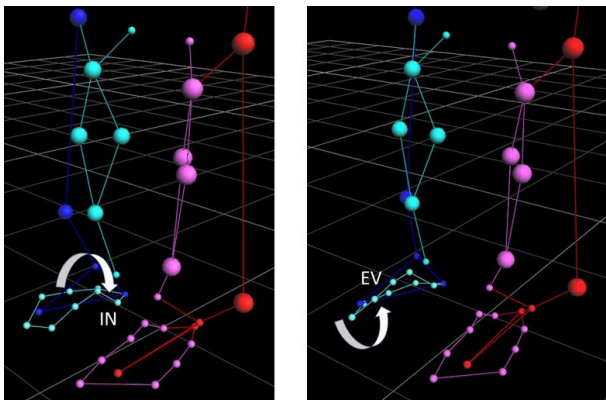


Fig. 1: Calibration movement of the ankle (loaded)

During measurements, the participants were asked to perform 10 heel raises to check the mobility of the hindfoot. After that, the participants performed two different functional calibration movements under load and without load (see Fig. 1). Joint parameter estimation of the subtalar joint was performed via a functional algorithm [4].

Results: The ranges of motion in each plane and for each calibration movement is shown in Tab. 1. In the loaded INV-EV movement, the subtalar axis shows an inclination of 44.3° in the sagittal plane, -3.5° deviation (ARO) in the transverse plane, and

3.1° valgus position in the frontal plane, respectively (see Fig. 2). In the unloaded condition, these angles are 39.8° inclination, -15.7° deviation, and 13.9° valgus.

ROM	Loaded IN-EV			Unloaded IN-EV		
	Sag	Front	Trans	Sag	Front	Trans.
Mean	15.5°	39.0°	20.4°	20.9°	28.6°	21.3°
SD	6.0°	6.2°	4.9°	8.5°	6.7°	4.9°

Tab. 1: Range of motion between shank and hind-foot in Inversion-eversion movements.

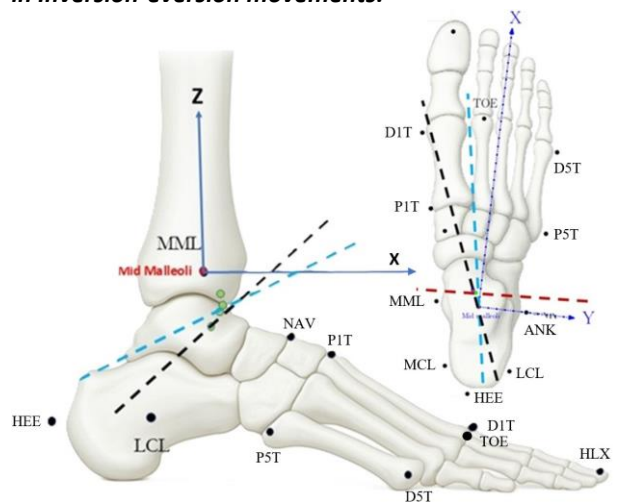


Fig. 2: Orientation of the subtalar joint axis during loaded and unloaded INV-EV movement and orientation of the tibiotalar axis.

Discussion:

The inclination of the subtalar joint axis of 44.3° (loaded) and 39.8° (unloaded) confirms earlier findings of cadaver studies [5]. The deviation angle of 3.5° (loaded) and -15.7° (unloaded) differs and appears highly individual and dependent on performance. Ranges of motion are in some cases too small for robust joint parameter estimation.

References

1. Davis RB, et al. Hum Move Sci, 10(5) 575-587, 1991.
2. Simon J, et al. Gait Posture, 23(4) 411-424, 2006.
3. Campos S, et al. J Foot Ankle Res. 18(3):e70085 2025.
4. Schwartz MH, Rozumalski A. J Biomech. 38(1):107-16, 2005.
5. Inman, VT. The joints of the ankle, Williams & Wilkins, Baltimore, 1976.



FATIGUE-RELATED CHANGES IN TRUNK KINEMATICS DURING REPEATED STAIR CLIMBING UNDER LOAD

Svea Lüdorff (1), Christian Blume (2), Miguel Pishnamaz (1), Ulf Hofmann (1), Maximilian Praster (1)

1. Clinic for Orthopedics, Trauma and Reconstructive Surgery, University Hospital Aachen, Aachen, Germany; 2. Neurosurgery Clinic, University Hospital Aachen, Aachen, Germany

Introduction: Low back pain (LBP) is a leading cause of work-related disability, especially in physically demanding delivery occupations. While manual material handling is a known risk factor, the biomechanical demands of repetitive stair climbing under load, which is common among postal and beverage delivery workers, remain largely unexplored [1]. Stair climbing induces increased physical stress, potentially accelerating fatigue onset and raising the risk of overuse injuries. Previous studies show that higher loads compromise movement stability [2] and require compensatory trunk muscle activation to maintain spinal stability [3]. This study examined the effects of repeated stair climbing under varying loads on trunk movement and indicators of musculoskeletal fatigue.

Methods: Thirteen healthy adults (6 male, 7 female) participated in this study on stair-climbing under different load conditions. Each completed twelve ascents and descents of a seven-step staircase per trial, carrying individualized loads: empty crate (twice), 50% or 100% of maximal capacity. Whole-body kinematics were recorded with an inertial motion capture system (Link), focusing on trunk flexion/extension and lateral bending. Fatigue-related changes under maximal load were assessed using repeated-measures t-tests comparing the first (part1) and last (part2) 20 steps, excluding the initial and final three steps to eliminate non-representative phases.

Results: From part1 to part2 of the stair-climbing task, trunk flexion/extension increased significantly from 5.74° to 7.07° at 100% load (Fig. 1) and from 6.20° to 7.22° at 50% load, while lateral bending increased significantly from 1.92° to 2.45° and from 1.70° to 1.35°. No significant changes were observed in the unloaded conditions.

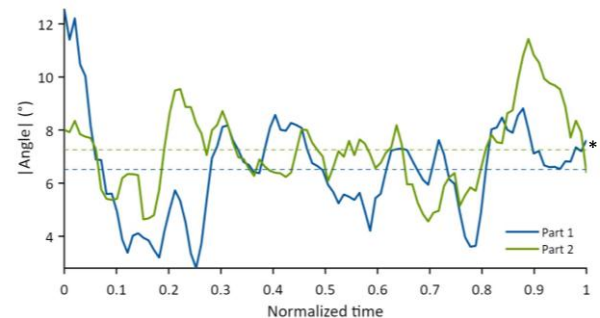


Fig. 1: Trunk flexion/extension during stair climbing to exhaustion with individual maximal load. Part 1: first 20 steps; Part 2: last 20 steps. Dotted lines indicate the mean.

***Significant difference in mean ($p < 0.05$).**

Discussion: The significant increases in trunk flexion/extension and lateral bending under maximal load indicate task-induced instability and fatigue, consistent with previous findings that higher loads reduce movement stability during stair climbing [2]. Excessive trunk motion likely reflects impaired spinal stabilization due to muscular fatigue [3] and parallels kinematic changes seen in individuals with low back pain during stair descent [4]. These results highlight the cumulative strain and injury risk of repetitive, high-load stair climbing in occupational settings. Future studies should include additional kinematic parameters, such as head-in-space control, to better characterize fatigue-related postural adaptations.

References

1. Boniardi et al., Med Lav, 115:e2024035, 2024.
2. Demura et al., Health, 2:1372–1376, 2010.
3. Ershad et al., J Bodyw Mov Ther, 31:7–15, 2022.
4. Namnik et al., J Rehabil Sci Res, 5:81–85, 2018.

Notes: Funded by the Federal Ministry of Research, Technology and Space – workHealth (01EC1905A).



MUSKELAKTIVIERUNGSMUSTER BEI GLEICHGEWICHTSAUFGABEN IN DER REHABILITATION CHRONISCHER SPRUNGGELENKSINSTABILITÄT

Rosemary Dubbeldam (1), Yu Yuan Lee (1), Lena Fennen (2), Charlotte Le Mouel (3).

1. Institut für Sportwissenschaft, Universität Münster, Deutschland; 2. Gebiom GmbH, Münster, Deutschland; 3. CNRS, Institute of Intelligent Systems and Robotics, Sorbonne University, Paris, Frankreich.

Einleitung: Patient:innen mit chronischer Sprunggelenks-instabilität (CAI) zeigen eine Atrophie der Fuß- und Hüftmuskulatur [1-3] und veränderte Aktivierungsmuster wie verzögerte Peroneus-Aktivierung oder abnorme Koaktivierung auf [4–6]. Reha-Programme stärken extrinsische Fußmuskeln und verbessern das Gleichgewicht [7,8], während der Beitrag der Hüft- und intrinsischen Fußmuskulatur bislang wenig erforscht ist [9]. Diese Studie untersucht die Muskelaktivität der betroffenen Extremität bei CAI vor und nach einem Reha-Programm während Gleichgewichtsaufgaben, um Mechanismen der Gleichgewichtskontrolle und Koaktivierung im Vergleich zu Gesunden besser zu verstehen

Methoden:

20 gesunde Kontrollpersonen und 15 Patient:innen absolvierten Aufgaben im Zwei- und Einbeinstand, mit und ohne geschlossene Augen (je 2 × 60 s). Die CAI-Gruppe wurde vor und nach einem 12-wöchigen Reha-Programm gemessen. Erfasst wurden EMG-Daten von 13 Muskeln der unteren Extremität. Die Signale wurden mittels MVC normalisiert, Korrelationen zwischen Muskeln und Hauptkomponentenanalyse (PCA) berechnet.

Ergebnisse: Insgesamt nahmen die mittlere Muskelaktivität sowie die Korrelationen zwischen den Muskeln mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit zu. Die PC1 und PC2 erklärten etwa 35 % bzw. 20 % der Varianz der Muskelaktivität bei allen Einbeinstandaufgaben, wobei dieser Anteil mit steigender Schwierigkeit zunahm (Abb. 1). PC1 repräsentiert die Koaktivierung aller Muskeln, während PC2 die individuellen Beiträge von Agonisten und Antagonisten abbildet. Der Gastrocnemius lateralis und medialis zeigten unterschiedliche Aktivierungsmuster, jeweils gemeinsam mit anderen Muskelgruppen (PC2).

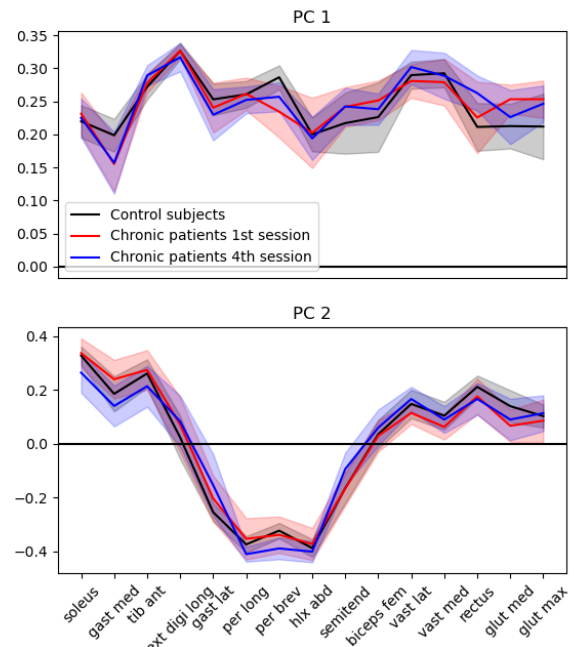


Fig. 1: Gewichtungen der Muskelaktivität für die beiden Hauptkomponenten (PCs)

Diskussion: Die Muskelaktivität und damit verbundene Parameter nahmen mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit zu, jedoch nicht signifikant stärker bei den Patient:innen im Vergleich zu den gesunden Teilnehmenden. Im nächsten Schritt wird die individuelle Gleichgewichtsleistung berücksichtigt.

Referenzen

1. Feger MA et al. (2016). Orth J Spo Med, 4(6)
2. Abdel-Aziem AA et al. (2014). JBMR, 27(1)
3. DeJong AF et al. (2020). Med Sci Spo Exc, 52(7)
4. Eils E, Rosenbaum D (2001). Med Sci Spo Exc, 33(12)
5. Donahue MS et al. (2014). J Elect Myo Kin, 24(1)
6. Teruya TT et al. (2023). Br J Mot Beh, 17(5)
7. Hou ZC et al. (2022). J Ft Ank Res, 15(1)
8. Kasic KB et al. (2017). Br J Spo Med, 51(2)
9. Labanca L et al. (2021). Gait Post, 90: 340-373



BIOMECHANICAL SIMULATIONS THAT TRACK EVERYONE, ALL AT ONCE

Markus Gambietz (1)*, Zhihao Zhao (1)*, Anne D. Koelewijn (1)

(1): BioMAC group, FAU Erlangen-Nürnberg. *both authors contributed equally

Introduction: Optimal control simulations are a powerful tool for exploring “what if?”-scenarios, such as how a specific person’s gait would alter when a specific speed or cadence is imposed [1]. However, the resulting gait is not always realistic, depending on the simulation scenario. To make simulated gait more realistic, one can track experimental data [2-3] or engineer a cost function [1], either biasing towards specific recorded gait patterns or yielding uncanny movement patterns. To improve on the realism of predictive gait simulations, we propose using a learned biomechanical state prior as an objective function, which guides the simulation towards more likely motions.

Methods: To obtain our prior R , we train a variational autoencoder (VAE) on the AddBiomechanics dataset [4]. The VAE learns to compress and reconstruct common patterns in the dataset, therefore training it on [4] allows it to reconstruct a wide range of walking and running movements but would yield inaccurate reconstructions for other motions. Thus, we calculate $R(x(t))$ as the reconstruction error of the VAE for the simulation state x at time t . Our VAE architecture is adapted from VPoser [5], with activation and normalization layers replaced by twice differentiable functions to ensure compatibility with trajectory optimization. The optimal control problem (OCP) is formulated as:

$$\min f(x(t)) + \lambda R(x(t)), \text{ subj. to } c(x(t)) = 0,$$

where f is a weighted combination of torque and effort minimization according to [2], c are the dynamics and periodicity constraints [2] and R is the prior term weighted by factor λ .

Tab. 1: Joint angles: mean absolute error (MAE) and correlation (r) between Falisse et al.’s and our simulations and reference data from [1].

Cost Function	Walking, 1.3 m/s		Running, 2.7 m/s	
	MAE [°]	r	MAE [°]	r
[1]	9.07	0.65	13.38	0.97
w/o R	11.81	0.67	18.21	0.66
$\lambda = 10^3$	5.41	0.96	5.31	0.99

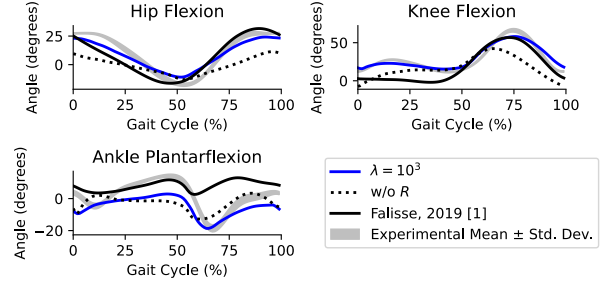


Fig. 1: Comparison of joint angles for simulated walking at 1.3 m/s.

To test our problem setup, we simulated walking and running (1.3; 2.7 m/s) with a 3D musculoskeletal model, as implemented in [3]. We compared the resulting gait patterns to predictive simulations and experimental data by Falisse et al. [1].

Results: Our simulations yielded lower joint angle error and higher correlation to experimental data compared to previous predictive simulations [1] (Tab. 1, Fig. 1). Knee angles were most accurate.

Discussion: Incorporating a learned prior into predictive gait OCPs yields more realistic walking and running simulations than current methods. The prior effectively regularizes the optimization toward human-like motion. However, muscle activations were higher when using the prior, therefore, further testing is needed. In conclusion, we propose a versatile and generalizable cost function that integrates a data-driven biomechanical prior into optimal control, simplifying the formulation of predictive simulations across different movement scenarios.

Notes: This work was funded by the DFG – SFB 1483 – Project-ID 442419336, EmpkinS.

References:

- [1] Falisse et al., J. R. Soc. Interface, 16, 2019
- [2] Nitschke et al., Sci. Rep., 10:17655, 2020
- [3] Koelewijn et al., JOSS, 10:115, 2025
- [4] Pavlakos et al., CVPR, 2019
- [5] Werling et al., ECCV, 2024

DGfB
2026
18.-20. März, Hamburg



EFFECTS OF PERTURBATION-BASED BALANCE TRAINING ON FALL RESILIENCE IN RESPONSE TO UNPREDICTABLE DISTURBANCES DURING WALKING

Mirko Kaufmann (1), Anika Weber (1), Ulrich Hartmann (2), Rolf Ellegast (3), Annette Kluge (4), Kiros Karamanidis (1)

1. University of Koblenz, Koblenz, Germany; 2. University of Applied Science Koblenz, Remagen, Germany; 3. Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (DGUV), Sankt Augustin, Germany; 4. Ruhr-University Bochum, Bochum, Germany.

Introduction: Falls in daily life or at work are often caused by unpredictable horizontal or vertical external disturbances during walking, such as tripping (TRIP), slipping (SLIP), or hole negotiation (HOLE). These disturbances can have a significant impact on the position and velocity of the center of mass (COM) in relation to the base of support (BoS), potentially leading to falls. Effective postural corrections are required to cope with gait perturbations in order to reduce fall risk. The aim of this study was to investigate whether treadmill-based perturbation balance training can improve fall resilience during unpredictable horizontal and vertical overground disturbances while walking.

Methods: 70 healthy adults (age 22-61) participated in the study. 40 participants were exposed to mechanically induced unpredictable horizontal perturbations during treadmill walking (about 20 min) applied on their waist and legs using a custom-made pneumatic break-and-release system (INT). 30 participants walked on the treadmill without perturbations (CON). In order to analyze possible effects on the fall resilience during unpredictable, overground horizontal and vertical disturbances, all participants experienced overground TRIP, SLIP and HOLE elements before (PRE) and after (POST) walking on the treadmill. Whole-body kinematics were recorded using XSens Link (120 Hz) and the components of the margin of stability (MoS) in anterior-posterior (AP) and medio-lateral (ML) direction were determined to assess balance recovery.

Results: INT showed POST in relation to PRE a significant ($p < 0.05$) higher MoS in AP (Fig. 1) due to a greater BoS at touchdown following both horizontal gait disturbances, i.e. TRIP and SLIP with no time-point effect for CON. Concerning HOLE no

differences in INT and CON between PRE and POST were assessed in AP and ML MoS.

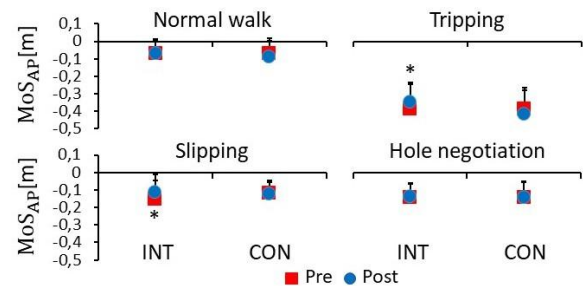


Fig. 1: MoS in AP PRE and POST for groups INT and CON; *: sig. differences PRE vs. POST ($p < 0.05$)

Discussion: Our results provide evidence that treadmill-based perturbation balance training can improve fall resilience by promoting more effective foot placement following unpredictable disturbances during overground walking. These benefits were observed for horizontal gait disturbances (i.e., tripping and slipping), but not for hole-negotiation tasks. This indicates that the generalizability of postural control adaptations acquired through horizontal treadmill-based perturbations is limited and does not effectively transfer to disturbances that require rapid absorption of COM potential energy and eccentric energy dissipation by the leg-extensor muscle-tendon units [1]. These factors should be considered when designing and promoting effective fall-resilience interventions.

Notes: Analysis from the project "ENTRAPon"; funded by DGUV (project no. FF-FP 0470)

References

1. Arampatzis et al., Ann. Biomed. Eng. 53: 3126-3140, 2025



ZUSAMMENHANG VON GELENKSMOMENTEN UND KONTAKTKRÄFTEN IM KNIE UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER INDIVIDUELLEN TIBIATORSION

Andreas Kranzl (1,2), Dominik Töller (1), Brian Horsak (3,4),

Djordje Slijepčević (5), Philipp Krondorfer (3), Sebastian. Farr (6), Fabian Unglaube (1)

1. Orthopaedic Hospital Speising, Laboratory for Gait and Movement Analysis, Wien, Austria, 2. Vienna Bone and Growth Center, Vienna, Vienna, Austria, 3. St. Pölten University of Applied Sciences, Center for Digital Health & Social Innovation, St. Pölten, Austria, 4. St. Pölten University of Applied Sciences, Institute of Health Sciences, St. Pölten, Austria, 5. St. Pölten University of Applied Sciences, Institute of Creative Media Technologies, St. Pölten, Austria, 6. Orthopaedic Hospital Speising, Department of Pediatric Orthopaedics and Foot Surgery, Vienna, Austria.

Einleitung: Idiopathische Valgusdeformitäten der unteren Extremität sind häufig und werden oftmals mittels wachstumslenkender temporärer Hemi-Epiphysiodese behandelt. Das frontale Kniegelenksmoment (KAM) während des Gehens dient als Surrogatmarker für die Kniegelenksbelastung, wobei bisherige Untersuchungen primär die frontale Fehlstellung evaluieren [1], ohne die individuelle Tibiatorsion (TT) zu berücksichtigen. Der Einfluss der TT auf die Kniekontaktkraft (KKK) wurde bereits nachgewiesen [2,3], unklar bleibt jedoch, wie sie im Verhältnis zum KAM steht. Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss der TT auf die Korrelationsverhältnisse zwischen KAM und medialer KKK zu bestimmen.

Methoden: Es wurden Patient*innen retrospektiv eingeschlossen, die zur Achskorrektur mittels temporärer Hemi-Epiphysiodese vorgesehen waren und präoperative dreidimensionale Ganganalysen (3DGA) aufwiesen. Ausschlusskriterien waren neuromotorische Störungen. Die muskuloskelettale Modellierung (Rajagopal Modell mit dem "Lerner" Knie) wurde automatisiert zur Berechnung der medialen KKK eingesetzt: Torsionsanpassungen (Torsion Tool [4]), Workflowautomatisierung (autoSIM [5]). Korrelationen sowie lineare Regressionen wurden berechnet (KAM zu KKK).

Ergebnisse: 187 Beine wurden analysiert. Die Korrelation/Regression zwischen internem KAM und medialer KKK beträgt $r=0,361/R^2=0,131$ ($p=0,000$) für das erste Maximum. Für das zweite: $r=0,652/R^2=0,425$ ($p=0,000$) (Abb.1).

Diskussion: Die ermittelten Korrelationswerte weisen auf einen moderaten bis hohen Zusammenhang zwischen KAM und medialer KKK hin. Im Vergleich zu Holder et al. [1] zeigten sich hier höhere Korrelationen. Der zweite KAM-Maximalwert erwies sich als geeigneter Surrogatmarker für die Vorhersage der medialen KKK. Diese Studie weist gegenüber bisherigen Studien eine wesentlich höhere Fallzahl auf. Die Berücksichtigung der TT scheint eine Erhöhung der Güte der Korrelation und Regression zu bewirken, im Vergleich zu bestehenden Studien.

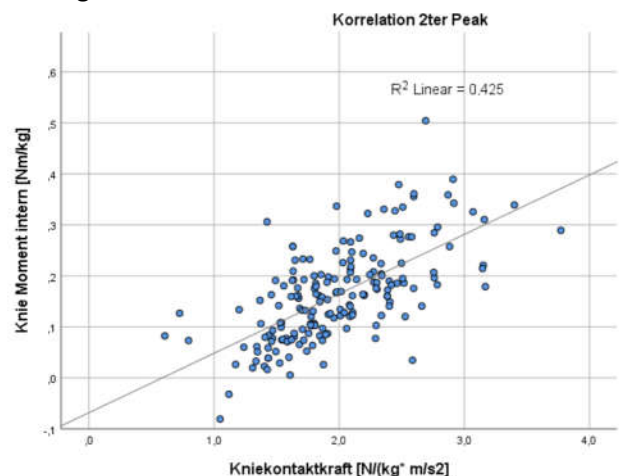


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Kniekontaktkraft und internem Kniemoment.

Referenzen

- [1] J. Holder et al, Gait Posture, 155–156, 2020
- [2] A. Kranzl et al, Gait Posture. 125–126, 2025
- [3] S. Van Rossom et.al, The Knee, 813–823, 2019
- [4] K Veerkamp et.al., J.Biomech, 2021
- [5] B. Horsak et.al., Gait Posture. S18–S19, 2025



PROPENSITY SCORE–MATCHED EVALUATION OF GAIT FOLLOWING SELECTIVE DORSAL RHIZOTOMY IN CHILDREN WITH BILATERAL SPASTIC CEREBRAL PALSY

Matthias Hösl (1,2) , Elena Breidt (3), Fahd Alsalloum (4), Maria Abel (5), Hannes Haberl (5), Manfred Kudernatsch

1. Gait & Motion Analysis Laboratory, Schön Clinic Vogtareuth, Germany; 2. Institute for Transition, Rehabilitation and Palliation, Paracelsus Medical University Salzburg, Austria; 3. Paracelsus Medical University Nuremberg, Germany;; 4. Paediatric neurology, neuro-rehabilitation and epileptology, Schön Clinic Vogtareuth, Germany; 5. Neurosurgery, epilepsy surgery, spinal surgery, Schön Clinic Vogtareuth, Germany

Introduction: Cerebral palsy (CP) is a neurological disorder with spasticity affecting ~ 85% of patients. Selective dorsal rhizotomy (SDR) is a neurosurgery that transects lumbar and sacral afferent nerve rootlets to reduce spasticity and improve function. Studies with controls are scarce due to constraints in clinical practice [1,2]. Propensity score matching offers an approach to retrospectively compare SDR outcomes in patients with i.e. non-surgical care [3] and similar pathology. We thereby aimed to critically evaluate the effects of SDR on gait.

Methods: This was a matched cohort study on patients with bilateral spastic CP (BSCP) who underwent SDR (2019-2025) with at least one pre- and post-op. 3D gait analysis (Vicon Nexus). A control group that had neither SDR nor any orthopaedic intervention but orthotics, physiotherapy and botulinum toxin, was extracted. Propensity scores represented the probability to receive SDR, given baseline characteristics (age, GMFCS level, spasticity (Σ MAS-scores), previous myofasciotomy (yes/no), Gait Profile Score (GPS) and non-dimensional walking speed. Main outcomes were walking speed, GPS, composite spasticity and strength. Matching statistics was done in R (4.5.1) using MatchIt. We finally assessed differences between groups using an ANCOVA-like framework via a linear mixed model, applied for limb-specific outcomes.

Results: N=46 matched pairs were identified with comprehensive baseline comparability (Fig. 1), no differences of strength, spasticity, walking speed or GPS, as well as similar distribution of GMFCS-Levels and proportion of previous myofasciotomy (see Fig. 1). Only the follow-up interval was longer in controls and included as a covariate.

	Control		SDR		SMD
	Mean	SD	Mean	SD	
Propensity Score	0,6	0,2	0,6	0,2	0,118
Age [years]	7,1	3,3	7,0	3,6	- 0,009
GMFCS [1,2,3,4]	1: 20.0% 2: 33.3% 3: 37.8% 4: 08.9%		1: 11.1% 2: 53.3% 3: 24.4% 4: 11.1%		
Duration Follow-Up [months]	13,2	6,3	8,5	3,3	-1,356
Myo [y/ n]	y: 22 (48.9%) n: 23 (51.1%)		y: 23 (51.1%) n: 22 (48.9%)		0,022

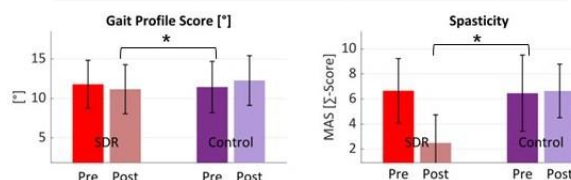


Fig. 1: Group matching and effects of SDR vs. no-SDR (controls) on gait and manual spasticity (SMD=Stand. Mean Difference), *P<0.05.

Spasticity was reduced (Fig.1, $P < 0.01$). Differences in GPS in favour of SDR were -1.35° , 95% CI $[-2.66, -0.04]$ ($P = 0.04$). Differences in strength ($P = 0.37$) and speed ($P = 0.11$) were not significant

Conclusion: Compared with standard care, SDR resulted in a clear reduction of spasticity and improved gait quality, which approached the MCID of 1.6° . Importantly, propensity score matching is a robust statistical framework and provides confidence that the effects are attributable to SDR rather than to confounders.

References

1. Weinbrecht-Mischkewitz M et al, Early Hum Dev, 200:106154, 2025
2. Schwartz MH et al, DMCN, 2025 Jul 29, doi:10.1111/dmcn.16425
3. Papageorgiou E et al, DMCN, 67:802–811, 2025



INFLUENCE OF CALIBRATION POSE ON INERTIAL MEASUREMENT UNIT-BASED LOWER LIMB KINEMATICS IN EXPERIMENTALLY SIMULATED CROUCH GAIT

Barbara Postolka (1,2), Johanna Sornig (1,3), Eleonora Croci (1,2), Annegret Mündermann (1,4,5).

1. Department of Biomedical Engineering, University of Basel, Allschwil, Switzerland; 2. Department of Orthopaedics and Traumatology, University Hospital Basel, Basel, Switzerland; 3. Department of Health Science and Technology, ETH Zurich, Zürich, Switzerland; 4. Department of Clinical Research, University Hospital Basel, Basel, Switzerland; 5. Department of Teaching, Research, and Development, Schulthess Clinic, Zürich, Switzerland.

Introduction: Inertial measurement units (IMU) provide a portable, affordable, and flexible solution for instrumented gait analysis. To allow accurate representation of joint kinematics, IMUs require a subject-specific calibration [1]. While such procedures are well tested for healthy subject, they demonstrate a challenge for patients with gait disorders such as crouch gait. Therefore, the aim of this study was to evaluate the influence of three IMU calibration procedures on the concurrent validity of IMU-based kinematics in experimentally simulated crouch gait.

Methods: 18 healthy participants (9♀/9♂, 32±8 years, 23.5±2.9 kg/m²) were assessed during experimentally simulated crouch gait using 7 IMU sensors (feet, shank, thigh, pelvis, 200Hz, Noraxon) and a 20-camera marker-based system (CGM2.4, 200Hz, Qualisys) (Fig 1). Crouch gait was simulated by limiting knee extension to 30° knee flexion. Three different calibration procedures (normal walking (WN), crouch gait (WC), static sitting (SS)) were followed by three trials of crouch gait. IMU-based kinematics were extracted (MR4.0, Noraxon) and marker-based kinematics calculated using pyCGM [2]. Concurrent validity was assessed as root-mean-square errors (RMSE) between the trajectories of the two systems.

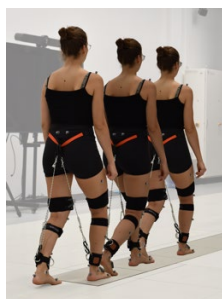


Fig. 1: Experimentally simulated crouch gait

Results: After normal walking and static sitting calibration, the knee joint angles were comparable between systems (RMSE 3.0–6.8°, Fig 2 A+C). Despite a similar RoM (RMSE 3.0±1.3°), the kinematic waveforms showed a substantial difference between systems (RMSE 28.5±7.3°) after IMU calibration in crouch gait (Fig 2 B).

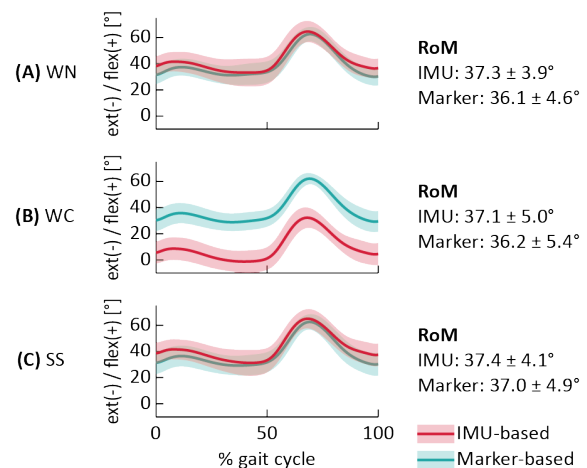


Fig. 2: Knee joint flexion angle during crouch gait following (A) normal walking (WN), (B) crouch gait (WC), and (C) static sitting (SS) calibration.

Discussion: This study highlights the importance of choosing adequate IMU calibration procedures, in particular for patients with gait disorders. The results also show the potential of using kinematic offset values to account for subject-specific deviations from the neutral pose.

Notes: This work was supported by an Innosuisse innovation project (113.826 IP-LS).

References

1. Cereatti et al, J Biomech, 173:11225, 2024.
2. Leboeuf et al, Gait Posture, 69:235-241, 2019.



PREDICTING TRANSTIBIAL PROSTHETIC ALIGNMENT CHANGES DURING GAIT USING AI AND OPTIMAL CONTROL

Gilmar F. Santos (1), Carina Gempfer (1), Christof Hurschler (1), Eike Jakubowitz (1)

1. Hannover Medical School, Laboratory for Biomechanics and Biomaterials, Department of Orthopedic Surgery, DIAKOVERE Annastift, Hannover, Germany

Introduction: Prosthetic gait differs considerably from the unimpaired gait. The alignment of the prosthetic foot and socket plays an important role in attaining optimal gait of transtibial amputees (TTA). Thus, inappropriate or suboptimal alignment can affect gait kinetics [1]. Therefore, the application of innovative methods to analyze the prosthetic gait may be of great value to better understand the effects of altered prosthetic alignment. The aim of this work is to compare four different methods of analyzing the gait of TTA under different prosthetic alignment conditions.

Methods: We captured the gait of 14 healthy subjects and 14 unilateral TTA patients. Motion capture, ground reaction force, and IMU data were collected. Inverse dynamics (ID) was performed in Vicon Nexus (VN-ID) and kinetic data was calculated using the predefined model. A long short-term memory neural network (NN) was generated to estimate gait kinetics using IMU data as input (IMU-AI). The NN was trained using VN-ID data. The result of one TTA (TTA1), which was not included in the training dataset, was analyzed. A musculoskeletal model of TTA1 was created using OpenSim and kinetic data was obtained using ID (OS-ID). Predictive simulation based on optimal control (Pred-OC) was performed and gait patterns independent of experimental data were predicted [2]. The gait of TTA1 was analyzed with optimal prosthetic alignment (REF), and with the prosthetic foot translated 10 mm posteriorly (POS).

Results: All methods showed a lower peak of knee extension moment (PKEM) on the ipsilateral (IL) side in comparison to the contralateral (CL) side during the gait of TTA1 (Figure 1). We also observed an increase in IL PKEM during the POS condition compared to REF in OS-ID, IMU-AI and Pred-OC. In VN-ID, the effect of POS on PKEM was

the opposite as observed in the other methods (Figure 1).

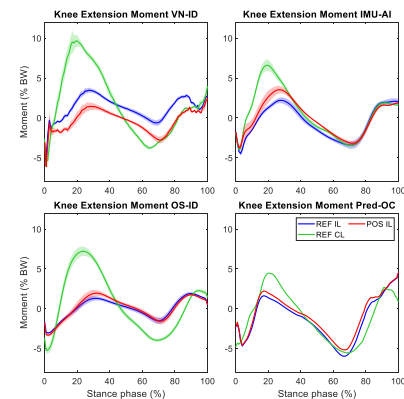


Fig. 1: Internal knee extension moment of TTA1

Discussion: VN-ID and OS-ID may be considered the gold standard in gait analysis. However, the effect of changing the prosthetic alignment on knee moment was inconsistent between these two methods (Figure 1). IMU-AI has the potential to allow measurements outside the gait laboratory. Pred-OC has been used to analyze the cause-effect relationship of alterations in musculoskeletal system. Even though IMU-AI was trained using data from VN-ID, the effect of the altered prosthetic alignment was consistent to OS-ID and Pred-OC.

We were able to predict the effect of changed prosthetic alignments using IMU-AI and Pred-OC in a representative patient, but the magnitude of the moments differed between the methods. Although the results may be promising, further analysis will be needed to investigate the utility of these different approaches.

References

1. Zhang et al., Gait Posture, 76: 85-91, 2020.
2. Santos et al., PLoS One, 20: e0314758, 2025.



EFFICACY OF REAL-TIME FEEDBACK ASSISTED EXERCISE THERAPY IN PATIENTS FOLLOWING TOTAL HIP ARTHROPLASTY

Klaus Widhalm (1,5), Lukas Berger-Maul (1), Harald Penasso (1), Sebastian Durstberger (1), Peter Putz (1), Sebastian Leder-Berg (2), Hans Kainz (3), Peter Augat (4,5)

1. Health Sciences, University of Applied Sciences Campus Vienna, Vienna, Austria; 2. II. Orthopedic Department, Orthopedic Hospital Speising, Vienna, Austria; 3. Centre for Sport Science and University Sports, University of Vienna, Vienna, Austria; 4. Institute for Biomechanics, BG Unfallklinik Murnau, Murnau, Germany; 5. Institute for Biomechanics, Paracelsus Medical University, Salzburg, Austria

Introduction: Hip replacement is among the most common surgeries in Austria [1]. Persistent functional deficits in gait after surgery can be improved through exercise therapy (ET) and home exercising [2]. This study aimed to determine whether additional digital real-time feedback assisted home-exercising leads to better outcomes compared to paper instructed home-exercising.

Methods: The study was designed as cluster-randomized controlled pilot trial, commencing four weeks after patients (mean=63.9, sd=5.0 years; mean=26.2, sd=3.4 kg/m²) underwent a unilateral total hip replacement. Physical examination, body composition, physical activity, Harris Hip Score, SF12, IPAQ short and 3D gait kinematics were assessed at one (t₀), three (t₁) and six (t₂) months post-surgery. From t₀ to t₁, patients participated in supervised, face to face ET twice a week. For daily home-exercising, the control group (CG, n=12) received printed exercise instructions, and the intervention group (IG, n=10) received digital real-time feedback assisted home-exercising prototype based on 3D depth human pose estimation (Fig. 1). A mixed linear model adjusting for individual's baseline and baseline cluster mean was used to test for differences between groups [3].

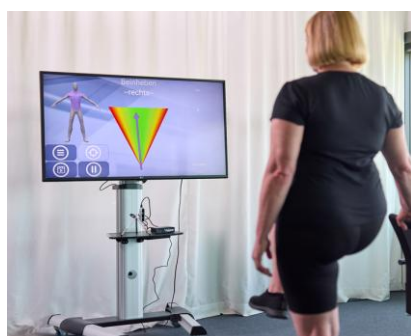


Fig. 1: Feedback system in use

Results: 21 patients completed the intervention phase and were assessed at t₁, 19 thereof at t₂. The results for the primary and secondary outcomes did not reveal any significant differences between CG and IG (Tab. 1).

Tab. 2: Effects trial outcomes: CG vs. IG

	t ₁		t ₂	
	β	p	β	p
Knee frontal RoM (°)	0.34	0.449	0.09	0.894
Pelvis frontal RoM (°)	-0.34	0.333	0.10	0.790
Trunk frontal RoM (°)	0.13	0.725	0.10	0.846
Harris Hip Score (0-100)	-0.87	0.768	-0.33	0.926
SF12 PH (0-100)	1.95	0.679	-0.25	0.958
SF12 MH (0-100)	-0.56	0.883	-2.01	0.444
IPAQ Met-mins/week	2558	0.214	2214	0.422

β ... estimated effects of the intervention in the unit of the outcome; p ... p-values calculated using mixed linear methods

Both groups improved significantly in walking speed, cadence, step length, SF12 physical health, Harris Hip Score, as well as knee flexion and extension muscle strength on the operated leg.

Discussion: Our findings showed that additional real-time feedback does not enhance outcomes compared to paper instructed alone. Future studies should focus on improving the prototype and its therapeutic integration. In addition, kinetic factors such as force generation, power, and loading symmetry should be examined.

Notes: This work was funded within the 30th UAS Call by the Municipal Dept. 23 of the City of Vienna.

References

1. Leitner et al, Sci Rep, 8(1):4707, 2018
2. Bahl et al, Osteoarthritis Cartilage, 26(7):847-863, 2018
3. Widhalm et al, JMIR Res Prot, 13:e59755, 2024



In vivo Gelenkbelastung bei sportlichen Aktivitäten und deren Risikoeinordnung für postoperative Return-to-Sport-Empfehlungen

G. F. Grauer, A. Bender, J. Dymke, T. Winkler, G.N. Duda, P. Damm

Zielsetzung und Fragestellung

Patienten, die eine Hüftendoprothese (HTEP) erhalten, sind heute jünger und aktiver und viele wünschen sich auf das präoperative Sportniveau zurückzukehren bzw. beginnen postoperativ neue sportliche Aktivitäten (1). Implantat-Register zeigen jedoch, dass bei jungen Patienten das Risiko für Implantat Versagen höher ist als bei älteren (2). Sport stellt dabei einen entscheidenden Faktor für das Implantat-Überleben dar. Welche Sportarten postoperativ empfohlen werden können wird jedoch kontrovers diskutiert. Ziel unserer retrospektiven Studie ist es daher, basierend auf in vivo Belastungsmessungen eine Risikobewertung von typischen sportlichen Aktivitäten, vor dem Hintergrund der in vivo wirkenden Gelenkbelastungen zu erstellen.

Material und Methoden

Wir haben bei 17 Patienten welche mit einer instrumentierten HTEP versorgt wurden, die *in vivo* Belastungen bei typischen Sportarten retrospektiv untersucht (3). Hierbei wurden vier Belastungsparameter analysiert: Spitzenbelastung, Lastanstieg und die Lastrichtung in zwei Ebenen; sowie die Anzahl der Zyklen pro Sportart. Die erhobenen Belastungsparameter wurden durch Bootstrapping stabilisiert und anschließend auf Basis eines neu entwickelten Klassifikationsmodells für jeden Parameter und Sportart spezifische biomechanische Risiko-Scores bestimmt. Diese wurden anschließend mittels k-Means-Clustering in drei Cluster unterteilt: Low-Impact, Intermediate-Impact und High-Impact.

Ergebnisse

Fast alle untersuchten Sportarten zeigten höhere Gelenkbelastungen als Gehen. Die höchsten Gelenkbelastungen traten beim Fußball schießen und Joggen auf und zählen auf vor dem Hintergrund der biomechanischen Risikobewertung zu den High-Impact Sportarten. Zu den Intermediate-Impact Sportarten zählen hingegen beispielsweise Bowling, Wandern und das Training auf einem Crosstrainer. Klassisches Gerätetraining, wie beispielsweise das Muskelaufbautraining mit einer Beinpresse, zählten hingegen zu den biomechanischen Low-Impact Sportarten.

Diskussion und Schlussfolgerung

Durch die biomechanische Klassifikation und anschließende Clustering konnte erstmals eine realistische auf in vivo Messungen basierende Risikobewertung typischer Sportarten vorgenommen werden. Dabei zeigte sich, dass einige Sportarten hinsichtlich ihrer in vivo wirkenden Gelenkbelastung deutlich unterschätzt wurden, während andere irrtümlich höheren Impact-Kategorien zugeordnet wurden (z.B. Wandern und Gerätetraining). Es ist allgemein anerkannt, dass moderater Sport die Regeneration und Heilung fördert, wohingegen Bewegungsmangel mit einem erhöhte Lockerungsrisiko einhergeht (4). Gleichzeitig führt jedoch übermäßige Belastung, wie etwa regelmäßige Teilnahme an einer High-Impact Sportarten zu einem erhöhten Versagensrisiko. Unsere auf in vivo Messungen basierende Risikoeinschätzungen bietet nun erstmals eine biomechanische Orientierung für postoperative Return-to-Sport-Empfehlungen.

Referenzen

(1) Ollivier et al 2012; (2) Bender et al 2022; (3) Oljaca et al 2018; (4) Jasty et al, J Bone Joint Surg 1997; (15) Vogel et al., 2011

EINFLUSS VON FEMUR-WEICHGEWEBE-SYSTEM UND IMPAKTORDESIGN AUF DIE IMPLANTATION ZEMENTFREIER HÜFTTOTALENDOPROTHESEN

Peter J. Schlieker (1), Frank Lampe (2), Johann Zwirner (3), Benjamin Ondruschka (3), Michael M. Morlock (1), Gerd Huber (1)

1. Institut für Biomechanik, Technische Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland; 2. Orthopädie, Asklepios Klinik Barmbek, Hamburg, Deutschland; 3. Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland

Einleitung: In der zementfreien Hüfttotalendoprothetik (HTEP) werden Hammerschläge verwendet, um Raspeln zur Präparation der femoralen Kavität voranzutreiben, Implantate einzubringen und Komponenten zu fügen. Die Dynamik der beteiligten Instrumente und die Wechselwirkung mit dem individuellen Femur-Weichgewebe-System (FTS) werden meist vernachlässigt. Ziel dieser Studie war, verschiedene Einflussfaktoren auf die Kraftübertragung vom Hammer zum Implantat bei der Implantation von Hüftschäften zu untersuchen.

Methoden: Vier Verstorbene wurden jeweils beidseitig mit einer HTEP versorgt – auf der einen Seite mittels lateralem transglutealen Zugang (LA) und kontralateral mittels direktem anterioren Zugang (DAA). Die dynamische Übertragungsfunktion des FTS wurde nach Resektion des Schenkelhalses mit einem am proximalen Femur befestigten elektrodynamischen Shaker (TV 51075-M, TIRA, DE), einem Kraftsensor (9321C, Kistler, CH) und einem triaxialen Beschleunigungssensor (M354C02, PCB, NY) mittels Modalanalyse bestimmt (Abb. 1a).

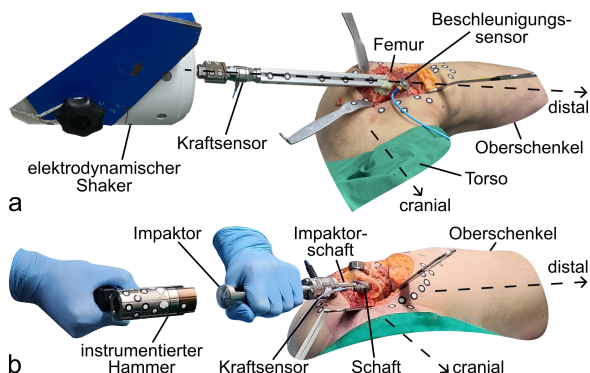


Abb. 1: Messaufbau für a) die Modalanalyse und b) die Kraftübertragung durch den Impaktor.

Nach erfolgter Implantation eines zementfreien Hüftschafes (Corail, Johnson & Johnson MedTech, MA) wurden weitere Hammerschläge aufgebracht

und synchron die Kraft am Hammer und im Schaft des Impaktors gemessen (Abb. 1b; 9041A und 9333A, Kistler, CH; 500 kHz, NI-9775, National Instruments, TX). Ein validiertes phänomenologisches Modell [1] wurde basierend auf der Modalanalyse und der Impaktorgeometrie angepasst (SimScape, Simulink R2024b, The MathWorks, MA) und mit den Kraftmessungen kalibriert. Mit diesem Modell wurde der Einfluss geringfügig modifizierter Impaktordesigns (vollsolider Griff, dünner Schaft) auf die Kraftübertragung untersucht.

Ergebnisse: Die Eigenfrequenz des FTS betrug 6,7 Hz für den LA und 9,6 Hz für den DAA. Mit dem verwendete Impaktor erreichten nur etwa 40 % der Peak-Hammerkraft das Implantat. Variationen des Impaktordesigns veränderten die Kraftübertragungen um den Faktor 2. Schwerere Impaktoren schwächten die Kraft stärker ab, während leichtere Designs mehr Kraft übertrugen.

Diskussion: Bei der niedrigen Eigenfrequenz des FTS führen kurze Metall-auf-Metall-Hammerschläge zu einer überkritischen Anregung. Der Implantatschaft wird somit in das Femur getrieben, bevor dieses in Bewegung gerät. Individuelle und zugangsspezifische Unterschiede des FTS sind daher klinisch unbedeutend, solange kurze Schlagimpulse für die Implantation verwendet werden. Das Design des Impaktors bestimmt dessen Kraftübertragung maßgeblich. Dies muss bei der Entwicklung neuer und modifizierter Instrumente berücksichtigt werden.

Hinweise: Die Autoren danken Johnson & Johnson MedTech für die finanzielle Unterstützung.

Referenzen

1. Schlieker et al., PLOS One, 19:e0303682, 2024



PARADOXICAL KINEMATICS AT THE TIBIAL PLATEAU AFTER TKA: NO EVIDENCE OF PATHOLOGICAL ANTERIOR JOINT SURFACE MOTION

Philippe Moewis (1), Hagen Hommel (2), Rainald Ehrig (1,3), Leonie Krahl (1), Adam Trepczynski (1), Georg N. Duda (1).

1. Berlin Institute of Health at Charité – Universitätsmedizin Berlin, Julius Wolff Institute, Berlin, Germany;
2. Krankenhaus Märkisch-Oderland, Wriezen, Germany; 3. Zuse Institut Berlin, Berlin, Germany.

Introduction: Total knee arthroplasty (TKA) is a well-established treatment for advanced knee osteoarthritis, yet ~10% of patients remain dissatisfied, often due to anterior knee pain [1]. Non-physiological rotational patterns and patellar maltracking are frequently implicated [2]. Understanding *in vivo* knee kinematics after TKA may contribute to proper implant selection and optimize outcomes.

Methods: Thirty patients (10 each with Journey II CR, Attune CR, or 5C® LATic CR) underwent postoperative *in vivo* fluoroscopic analysis during weight-bearing knee flexion. Medial and lateral distal tibial plateau points and anterior femoral reference points were tracked to quantify three-dimensional knee kinematics from full extension to maximal flexion (Figure 1A). Data were compared with *in vivo* kinematics from ten healthy knees.

Results: All analyzed TKA systems exhibited a certain degree of anterior shift in the medial compartment. Compared with the other systems, the Journey II CR demonstrated a reduced posterior rollback in the lateral compartment. In contrast, healthy knees showed a distinct posterior translation in the lateral compartment. These compartmental motion patterns resulted in an external rotation of the femoral component relative to the tibial plateau (Figure 1B). Furthermore, the anterior femoral reference points displayed a posterior translation toward maximal flexion. This pattern was particularly evident on the lateral side for the Journey II and 5C® LATic systems, although not to the same extent as in healthy knees. Both the distal and anterior (frontal) kinematic patterns induced a comparable degree of external rotation across all groups.

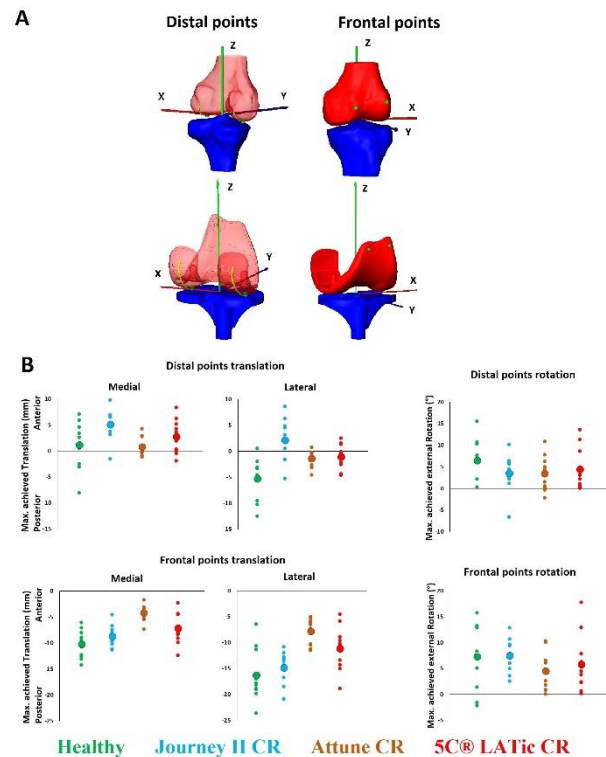


Fig. 1: A: Anterior and distal reference points. B: Maximal achieved translations/rotations (all patients; large circles indicate mean values).

Discussion: Despite paradoxical kinematic features, including anterior medial shift and reduced lateral rollback, posterior translation of the anterior femoral aspect was consistently observed. This motion, combined with external femoral rotation, may enhance patellar tracking and mitigate anterior knee pain. These findings highlight the importance of precise *in vivo* kinematic assessment for individualized TKA system selection.

References

1. Defrance et al., J Arthroplasty, 38(3): p. 1049-1056, 2023
2. Feng et al, World J Orthop, 15(2): p.180-191, 2024.



KNORPELVERSCHLEIß IN DER SCHULTER-HEMIARTHROPLASTY: ENTWICKLUNG EINES NEUEN TESTVERFAHRENS

Maximilian Uhler (1), Solvig Diederichs (2), Jan Philippe Kretzer (1).

1. Sektion für Biomechanik und Implantatforschung, Universitätsklinikum Heidelberg, Deutschland;
2. Forschungszentrum für experimentelle Orthopädie, Universitätsklinikum Heidelberg, Deutschland;

Einleitung: Hauptgründe für eine Revision in der Schulter-Hemiarthroplasty (SHA) sind Lockerung, Oberflächenverschleiß und Glenoidarthrose. Um eine Revision zu vermeiden, müssen die Materialien hinsichtlich ihres Verschleißverhaltens optimiert werden, um den gegenüberliegenden nativen Knorpel weniger zu schädigen. Das Ziel dieser Studie war es, ein standardisiertes in-vitro-Testverfahren für den Knorpelverschleiß in der SHA unter physiologischer Artikulation zu entwickeln, um die Implantatmaterialien entsprechend zu vergleichen.

Methode: Frische porkine Glenoide ($n = 8$) wurden aus dem Gelenk isoliert, anatomischen ausgerichtet und standardisiert eingebettet. Zur Durchführung der Verschleißsimulation wurde ein Gelenksimulator mit vier steuerbaren Freiheitsgraden gewählt (KSD-6-1000; AMTI, Watertown, MA, USA) (Abb 1. (B)). Die Tests wurden an Kobalt-Chrom-Humerusköpfen für 100.000 Belastungszyklen mit einer Frequenz von 1 Hz durchgeführt, wobei eine von Müller et al. veröffentlichte Arm-Abduktions-Adduktions-bewegung von 0° - 90° beim Heben einer Last von 2 kg simuliert wurde, einschließlich einer Anteversion-Retroversion von $\pm 10^{\circ}$ und einer superior-inferioren Translation des Humeruskopfes [1]. Die Kontrollen wurden mit derselben Last und Frequenz einachsrig komprimiert, jedoch ohne überlagerte Rotations- und Translationskräfte. Beide Belastungsregime wurden in parallelen Experimenten unter Verwendung der linken und rechten Gelenkpfannen eines Tieres verglichen. Die Freisetzung der molekularen Komponenten des Knorpelgewebes – Proteoglykane und Kollagen – in das Testfluid wurde während an gewissen Messzeitpunkten durch spezifische biochemische Tests überwacht.

Ergebnisse: Der Nachweis sowohl von Proteoglykanen als auch von Kollagen zeigte eine starke und signifikante Erhöhung der Freisetzung dieser Knorpelmatrixkomponenten durch die Gelenkbewegung im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die mittlere kumulative Proteoglykanfreisetzung war 17,5-mal höher als in der Kontrollgruppe und die Kollagenfreisetzung 4,5-mal höher (Abb. 1 (A)).

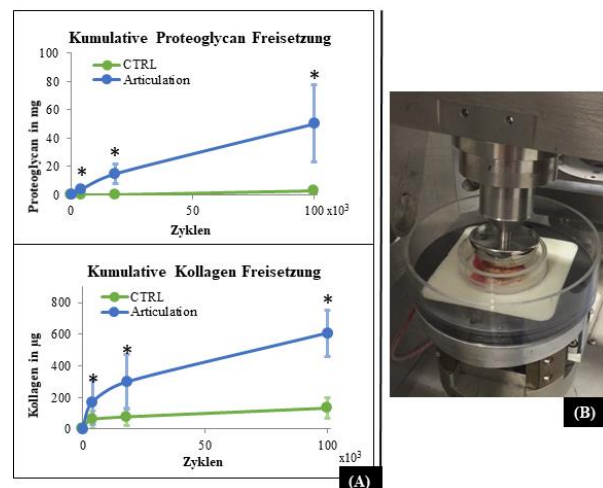


Abb. 1: Kumulative Freisetzung ins Testfluid von Proteoglykan und Kollagen (A). Test-Setup (B)

Diskussion: Insgesamt zeigten diese Daten eindeutig, dass die Artikulation den Knorpelverschleiß deutlich verstärkte und dass Unterschiede im Knorpelverschleiß festgestellt werden können, die durch unterschiedliche mechanische Belastungen hervorgerufen werden. Der Einsatz dieses Testverfahren kann es ermöglichen, wesentliche Unterschiede im Knorpelverschleiß festzustellen, die durch unterschiedliche Materialien des Humeruskopfes hervorgerufen werden.

References

1. Mueller et al. J Shoulder Elbow Surg. 2017 Oct;26(10):1756-1764



VERHALTEN ZEMENTFREIER PRIMÄRSCHÄFTE MIT UND OHNE KRAGEN UNTER KONTROLLIERTER UND EXTREMER DYNAMISCHER BELASTUNG

**Katja Brand (1), David Beverland (2), Tim Trieb (1),
Benjamin Ondruschka (3), Michael Morlock (1), Gerd Huber (1)**

1. Institut für Biomechanik, Technische Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland; 2. Primary Joint Unit, Musgrave Park Hospital, Belfast, Nordirland; 3. Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland

Einleitung: Hüftschäfte mit Kragen senken klinisch das Risiko für periprotehetische Femurfrakturen (PFF) - insbesondere in der frühen postoperativen Phase [1, 2]. Quasi-statische In-vitro-Versuche mit verschiedenen Belastungsszenarien haben nachgewiesen, dass die PFF bei Schäften mit Kragen erst bei höheren Kräften eintreten [3]. Diese Ergebnisse können mangels entsprechender Messungen nicht direkt auf dynamische Belastungen übertragen werden [4]. Ziel dieser Studie war es, den Einfluss des Kragens bei zementfreien Hüftschäften auf die Primärstabilität bei einer zyklischen dynamischen Belastung und das Auftreten einer PFF beim Stolpern [5] zu vergleichen.

Methoden: Hüftschäften ohne ($n = 7$) und mit Kragen ($n = 9$) wurden unter Messung der Implantationskräfte im Impaktor (9333A, Kistler) in humane Femora implantiert (2023-300374-WF). Die Präparate wurden anschließend einer zyklischen Belastung (MTS, MN, USA) auf zwei Lastniveaus ausgesetzt (1 Hz, 300 Zyklen 80 N - 800 N und 1 Hz, 300 Zyklen 80 N - 1600 N). Die Relativbewegungen zwischen Schaft und Femur wurden mittels digitaler Bildkorrelation erfasst (25 Hz, Zeiss, DE). Abschließend erfolgte die dynamische Versagenstestung durch Fallgewichte mit Energien von 7 J bis 21 J (Schrittweite 3,5 J) mit synchroner Kraftmessung (9367C, Kistler, DE).

Ergebnisse: Die Implantation der Hüftschäfte mit und ohne Kragen benötigte vergleichbare Kräfte ($p = 0,918$). Während der zyklischen Belastung unterschieden sich die Relativbewegungen zwischen den Gruppen nicht (ohne frakturierte Femora, $p = 0,757$). Im Versagensexperiment frakturierten prozentual weniger Femora der Gruppe mit Kragen (5 von 9) im Vergleich zu den

kragenlosen Schäften (3 von 4, $p = 0,072$), von denen zudem drei Schäfte bereits bei der Implantation und der zyklischen Belastung versagten (Abb. 1). Kein Schaft mit Kragen versagte bei der zyklischen Testung und mit Kragen wurden höhere Kräfte zum Versagen benötigt ($p = 0,016$).

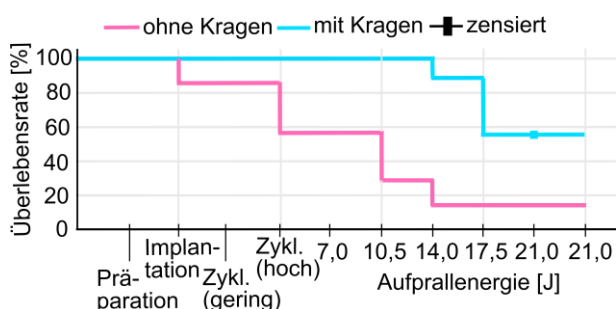


Abb. 1: Frakturanalyse (Kaplan-Meier) beider Gruppen von Präparation bis Versagen

Diskussion: Beide Schaftvarianten zeigen ähnliche relative Bewegungen während den zyklischen Belastungen, sodass der Kragen bei kontrollierten Belastungen im untersuchten Bereich keinen Effekt zeigt. Bei einer Belastungssituation wie Stolpern, die über das reguläre Alltagsmaß hinausgeht, reduziert der Kragen das PFF-Risiko deutlich. Somit bestätigen die dynamischen Messungen die Ergebnisse der quasi-statischen Untersuchungen.

Hinweise:

Die Autoren danken Johnson & Johnson MedTech für die finanzielle Unterstützung.

Referenzen

1. EPRD Deutschland, Jahresbericht 2025, 2025.
2. NJR England, 22st Annual Report, 2025.
3. Brand et al, J Biomech, 130:106671, 2025.
4. Elias et al, CORR, 370:250-8, 2000.
5. Bergmann et al, J Biomech, 26:969-90, 1993.



IN VITRO FUNDAMENTALS OF ACOUSTIC EMISSION ANALYSIS FOR EARLY DETECTION OF TOTAL HIP ARTHROPLASTY LOOSENING

Magnus Reulbach (1), Stefan Zimmermann (2), Eike Jakubowitz (1)

1. Laboratory for Biomechanics and Biomaterials (LBB), Hannover Medical School, Hannover, Germany
2. Institute of Electrical Engineering and Measurement Technology, Leibniz University Hannover, Germany

Introduction: During the loosening process of hip arthroplasties, relative motions of 30–100 μm between the stem and bone are leading to fixation loss [1]. Acoustic emission (AE) analysis appears to be a promising approach for the early detection of stem loosening, as no reliable diagnostic method currently exists. In previous *in vitro* investigations we characterized AE signals generated during isolated relative motions between highly simplified cortical bone and implant samples [2]. The next step is to demonstrate that these specific signal characteristics also occur under dynamic load of clinically relevant hip stems implanted in cadaveric femoral samples. It is hypothesized that the micro-motions occurring under dynamic load in a primary stable state generate detectable AE, which do not differ in their characteristics from those observed in the simplified samples.

Methods: Five uncemented hip stems (Core Hip, Aesculap AG, Germany) were implanted into cadaver femurs by an experienced surgeon. To simulate typical loads of activities of daily living at the bone–stem interface, a torque of $\pm 10\text{ Nm}$ was applied to the stem axis over 25 load cycles using a setup adapted from Görtz et al. [3] (Fig. 1). The AE sensor operated in a frequency band of 20–450 kHz (Vallen Systeme GmbH, Germany), while relative micromotions were simultaneously recorded using inductive measurement probes (Mahr GmbH, Germany). For statistics an analysis of variance with LSD post hoc t-tests was calculated.

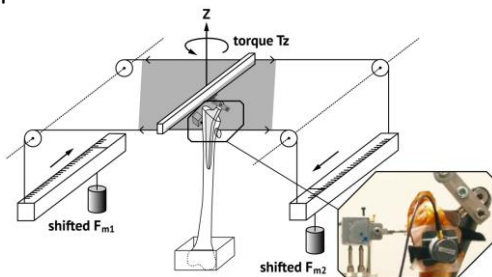


Fig. 1: Setup for torsional torque application

Results: AE events coincided with abrupt relative motions at the stem–cement interface. The centroid frequency of the AE signals did not differ to those observed in the simplified samples ($p = 0.14$). Over 90 % of the signal energy was concentrated between 20 and 130 kHz, similar to the simplified samples ($p = 0.80$). Time-domain parameters peak amplitude ($p = 0.05$) and rise time ($p < 0.01$) were higher in the simplified samples.

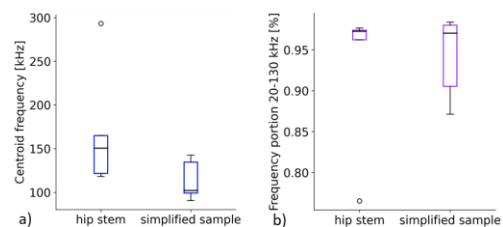


Fig. 2: Frequency characteristic of AE signals

Discussion: As expected, during relative motion between the stem and femur, the AE showed similar frequency characteristics to the idealised samples. Differences in amplitude and rise time likely resulted from AE attenuation through the soft tissue–like coupling layer and the femur itself [4]. In three of five samples, only few AE signals were detected, likely due to the highly rigid stem fixation, preventing abrupt relative motion. One of these samples also represented the outlier in centroid frequency. In future studies, AE under varying stem loosening will be investigated by implementing artificial proximal loosening gaps.

Notes: Funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) – SFB/TRR-298-SIIRI – Project-ID 426335750.

References

1. Aspenberg et al., Acta Orthop. Scand, 63:141-145, 1992
2. Reulbach et al., Med Eng Phys., 134:104266, 2024
3. Görtz et al., J Biomech Eng., 124(6):706-13, 2002
4. Reulbach et al., J Mech Behav Bio Mater., 164:106905, 2024



DYNAMIC AMPLIFICATION AT HIP STEM FATIGUE TESTING PER ISO 7206-4:2010

Sebastian Sommerfeld (1), Josef-Benedikt Weiß (1), Jens Schwiesau (1,2)

1. Research & Development, Aesculap AG, Tuttlingen, Germany; 2. Department of Orthopaedics Surgery, Physical Medicine & Rehabilitation Campus Grosshadern, Ludwig Maximilians University, Munich, Germany

Introduction: ISO 7206-4:2010 [1] specifies hip stem fatigue testing. The standard allows a test frequency up to 30 Hz and specifies a maximum error in applied load of $\leq 2\%$. However, due to the dynamic behaviour of the test system, dynamic amplification may occur. In the test setup, the load cell can be placed in one of two ways: 1) between the specimen and the cylinder of the testing machine; or 2) on the opposite side, between the specimen and the specimen fixture. This study focuses on setup 1. This study aims to quantify the effect of this amplification on the test.

Methods: A representative Ti6Al4V hip stem was embedded in accordance with the standard and assembled with an XXL head. The stem was loaded ($R=0.1$ and 2.3 kN) at different test frequencies using a hydraulic MTS test machine. Two load applications with masses of 0.65 kg and 2.15 kg were tested. Axial deflections of the test machine were measured and evaluated. The test setup is shown in Fig. 1. Additionally, a dynamic finite element model (FEA) was developed in ANSYS Mechanical 2022 R1. Modal analyses were used to determine eigenfrequencies, and harmonic response analyses were performed to predict frequency-dependent amplification.

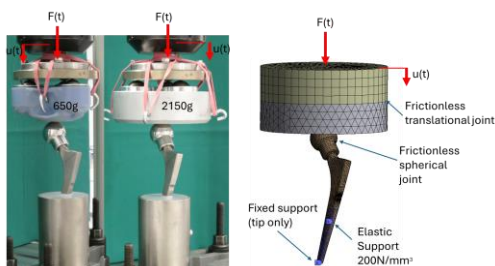


Fig. 1: Physical test setup vs. FEA model

Results: The tests according to ISO 7206-4:2010 demonstrated significant dynamic amplifications of axial deformation at higher test frequencies. This effect increased with the load application of 2.15 kg instead of 0.65 kg. The calculated

eigenfrequencies were 39 Hz and 63 Hz for load application masses of 2.15 kg and 0.65 kg. The measured and simulated amplifications of axial deflection relative to 1 Hz are given in Tab. 1. Numerical simulations showed that axial deflection of the hip stem are directly correlated with the stress distribution in the stem.

Tab. 1: Summary of Dynamic Amplification (relative to 1 Hz baseline)

Test Frequency	Load application with 0.65 kg		Load application with 2.15 kg	
	Physical test	FEA	Physical test	FEA
1 Hz	N/A	N/A	N/A	N/A
5 Hz	-0.2 %	0.4 %	-0.6 %	1.0 %
10 Hz	1.5 %	1.8 %	2.6 %	4.2 %
15 Hz	4.0 %	4.1 %	10.6 %	10.1 %
20 Hz	10.2 %	7.7 %	32.7 %	20.1 %

Discussion: Dynamic amplification is relevant for ISO 7206-4:2010 and can be quantified as the quotient of the axial deflection of the test setup at a certain test frequency (e.g. 15 Hz) and at 1 Hz. The used finite element models underpredict the effect especially at higher frequencies. A possible reason could be found in nonlinear effects in the real test setup. Dynamic amplification can be influenced by the mass of the load application and the test frequency. Dynamic amplification leads to higher stresses in a conservative manner but hinders the comparability of test results. While the example used was hip stem testing, the physical effects are generally valid for all dynamic implant test setups.

References

1. ISO 7206-4:2010; Partial and total hip joint prostheses – Part 4: Determination of endurance properties and performance of stemmed femoral components.



VALIDATION OF A NEW METHODOLOGY FOR INTRAOPERATIVE ASSESSMENT OF LARGE BONE DEFECTS IN REVISION TOTAL KNEE ARTHROPLASTY

Sven Krueger (1,2), Georg Hettich (1), Jan Haeussermann (1), Bernd Fink (3), Rainer Bader (2), Thomas M. Grupp (1,4).

1. R&D, Aesculap AG, Tuttlingen, Germany; 2. FORBIOMIT, Universitätsmedizin Rostock, Rostock, Germany;
3. Department for Joint Replacement, Orthopaedic Clinic Markgröningen,, Markgröningen, Germany
4. Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, Campus Grosshadern, LMU Munich, Munich, Germany

Introduction: Large bony defects in total knee arthroplasty (TKA) present a major challenge for achieving stable implant fixation [1]. To further optimize specialized implants such as cones or sleeves, realistic bone defect models are crucial, e.g. for biomechanical investigations. However, the exact geometry of actual bone defects can be assessed only intraoperatively during a brief interval between TKA removal and preparation of the revision implant. This study aimed to validate a new methodology for assessing intraoperative bone defects by comparing it with CT-based measurements.

Methods: For this validation study, two cadaveric human knees, each consisting of a femur and a tibia, were manually prepared to simulate large bone defects. To replicate the intraoperative workflow, a 3D scanner (Einscan Pro HD, Shining), mounted on a telescopic arm and adapted for intraoperative use, was employed to capture the bone defect geometry. (Fig. 1a, b). The resulting scan was postprocessed based on pictures and X-rays (Fig. 1c) and virtually aligned with a

mean bone model (MBM) [2], which had been scaled to the bone dimensions in the X-ray (Fig. 1d). Based on this alignment, defect and bone volumes were calculated. To validate this methodology, CT scans of the femoral and tibial bones were acquired both before and after (Fig. 1e) defect preparation. The segmented CT data was then used to calculate the corresponding defect and bone volumes for comparison with the data derived from the 3D scans.

Results: Two steps of the 3D scanning workflow were analysed. First, the defect volume obtained from the 3D scanning workflow was compared with the volume segmented from the CT scans, showing differences between +1.3% to -6.2% (Tab. 1). Second, the total bone volume of the scaled MBM models was compared to that from the CT scans, with differences ranging from +6.6% to -12.2%.

Tab. 1: Difference between CT scan and 3D scanning workflow, in percentage of CT scan

	Δ defect volume	Δ bone volume
Femur 1	-4.0%	-6.3%
Femur 2	-1.4%	+6.7%
Tibia 1	-6.2%	-2.1%
Tibia 2	+1.1%	-12.2%

Discussion: Although only a small sample size was investigated, our present study demonstrates that the proposed intraoperative workflow using 3D scanning and scaled MBMs is able to replicate large bone defects with sufficient accuracy. Obtaining realistic bone defect models may further enhance biomechanical studies for the evaluation of cone or sleeve implant designs.

References

1. d'Amato et al., Bone Joint J, 106-B(5):468, 2024
2. Dupraz et al., Appl Sci, 12, 1020, 2022

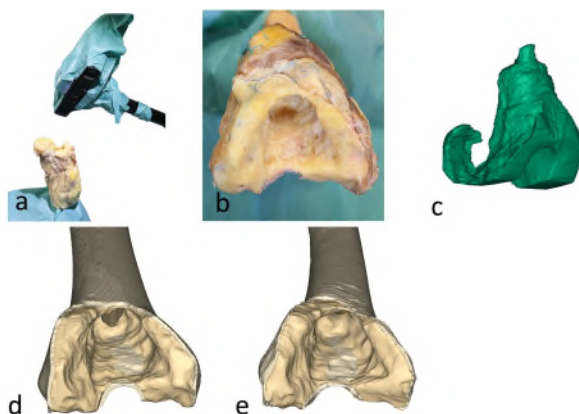


Fig. 1: a. 3D scanning procedure, b. Manually prepared femoral defect, c. Scanned defect volume, d. MBM with scanned defect, e. CT scan



ERMÜDUNGSFESTIGKEIT DES KOPPLUNGSMECHANISMUS VON MODULAREN KNIE ENDOPROTHESEN

Sebastian Jaeger (1), Therese Bormann (1), Lena Pett (1), Jan Philippe Kretzer (1)

1. Sektion für Biomechanik und Implantatforschung, Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

Einleitung: Modulare und vollgekoppelte Revisionsendoprothesen des Kniegelenks dienen bei großen knöchernen Defekten dem Extremitätenerhalt. Das häufig bei Knochentumoren eingesetzte Mutars®-System zeigt trotz guter klinischer Ergebnisse Komplikationen am Koppelungselement. Für die Metall-Metall-Koppelung wird die kumulative Revisionsinzidenz aufgrund von Instabilität durch Koppelungsabrieb oder -bruch auf 10 % nach 10 Jahren beziffert [1]. Die aktuelle Koppelungsgeneration nutzt eine CF-PEEK-Buchse, die mit einem Metallteil verbunden ist, welches die Koppelung in der Femurkomponente fixiert (Abb. 1A). In einzelnen Fällen wurde auch am aktuellen Koppelungselement von Frakturen berichtet. Ziel der Studie war zu prüfen, ob eine Rotation der Koppelung in der Femurkomponente solche Frakturen verursachen kann.

Methoden: Es wurden zwei Gruppen untersucht. Gruppe A verwendete die Koppelung in ihrer regulären Position. In Gruppe B wurde die Koppelung in der Femurkomponente um etwa 35° gedreht (siehe Abbildung 1B). In jeder Gruppe wurden fünf Proben getestet. Das Spiel zwischen Koppelung und Femurkomponente wurde vor der dynamischen Prüfung mit einer Koordinatenmessmaschine bestimmt. Die Koppelung wurde in 10° Überstreckung montiert und dynamisch belastet. Die Einleitung der Zugbelastung erfolgte über den Zapfen. Die Belastung erfolgte für 12 Millionen Zyklen sinusförmig bei 5 Hz. Die Spitzenbelastung wurde alle eine Million Zyklen um 500 N erhöht. Die Oberlast lag zunächst bei 2000N. Das Verhältnis zwischen Ober und Unterlast wurde auf 0,1 festgelegt. Nach Beendigung des Tests wurden die Koppelungen demontiert und visuell auf Beschädigungen untersucht.

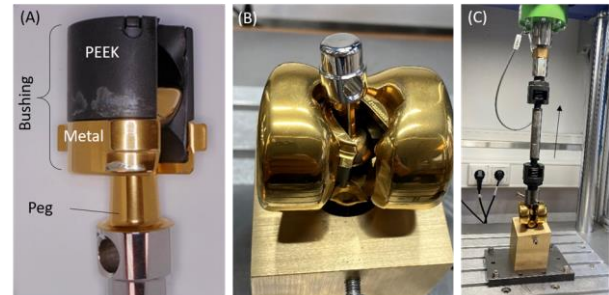


Abb.1: A) Koppelungselemente Buchse und Zapfen. B) Rotation der Buchse in femoraler Komponente. C) Test Setup

Ergebnisse: Der Spiel zwischen den Komponenten lag in Gruppe A zwischen 0,16 mm und 0,25 mm, und in Gruppe B zwischen 0,16 mm und 0,23 mm. In Gruppe A traten keine Koppelungsbrüche auf. In Gruppe B trat nach etwa 10 Millionen Lastzyklen ein Koppelungsbruch auf. Der Bruch trat bei der Kombination mit dem höchsten Spiel innerhalb der Gruppe auf. Alle Koppelung wiesen Anzeichen von Verschleiß an den PEEK-Buchsen auf, die dem Koppelungsverschleiß aus Explantatstudien von Metall-auf-Metall-Koppelungen ähneln.

Diskussion: Die Rotation der Koppelung innerhalb der Femurkomponente kann zu einem Bruch der Koppelung führen. Darüber hinaus könnte auch das Spiel zwischen den beiden Teilen eine Rolle bei der Entstehung eines Bruchs spielen. Durch eine Rotationssicherung der Koppelung könnten möglicherweise Brüche vermieden werden. Der Hersteller hat bereits eine Sicherungskomponente entwickelt, um eine Rotation der Koppelung zu verhindern. Zukünftige Studien sind erforderlich, um die Wirkung dieser Rotationssicherung auf mögliche Schäden an der Koppelung zu bewerten.

References

1. Evenhuis et al. Bone Jt.J.107-B(2),2025.



WIE IN ECHT: ENTWICKLUNG EINES REALITÄTSNAHEN HÜFTSIMULATORS

Maurice Weiss (1), Stefan Schroeder (1), Julian Zierke (2), Philipp Damm (2), Jan Philippe Kretzer (1)

1. Sektion für Biomechanik und Implantatforschung, Orthopädische Universitätsklinik, Heidelberg

2. Julius Wolff Institut, Charité – Universitätsmedizin, Berlin

Einleitung: Das Reibverhalten im Hüftgelenkersatz ist von klinischer Relevanz. In vitro Simulatoren bieten den Vorteil, Einflussparameter systematisch und isoliert zu analysieren. Allerdings spiegeln etablierte Simulatorkonzepte zur Reibungsmessungen am Hüftgelenkersatz die in vivo Situation, insbesondere den Hüftkraftvektor, nur simplifiziert wider. Um den physiologischen Hüftkraftvektor und die Kinematik realitätsnah zu reproduzieren und Parameter wie Reibung genauer untersuchen zu können, wurde ein neues Hüftsimulatorkonzept entwickelt und validiert.

Methoden: Als Basis für den Simulator dient ein AMTI VIVO JOINT SIMULATOR mit sechs aktiven Freiheitsgraden (Abb. 1). In einem Vorversuch wurde untersucht, ob das VIVO in der Lage ist, den Hüftkraftvektor hinsichtlich Orientierung und Betrag ausreichend gut zu regeln. Dabei wurde eine axiale Last auf ein künstliches Hüftgelenk appliziert und das Gelenk bewegt. Auftretende Querkräfte verursacht durch Exzentrik am Gelenk sollten durch das System kompensiert werden. Als Referenz diente der gleiche Aufbau jedoch mit Luftlager-Querkraftausgleich statt aktiver Regelung. Die realen Patientendaten zur Kinematik und Kinetik wurden unter Berücksichtigung der Maschinengrenzen mit einem individuellen MATLAB-Skript auf das Maschinensystem transformiert und mit einem optischen Messsystem sowie einem externen 6-DOF Kraftsensor abgeglichen und validiert.



Abbildung 1: Gesamtaufbau (CAD-Render)

Ergebnisse: Die gemessenen Querkräfte bei aktiver Regelung seitens des VIVO minimierten sich mit steigender Zyklenzahl. Ab einer Zyklenzahl > 50 konnte man von vernachlässigbaren Querkräften und einer reproduzierbaren dynamischen Orientierung des Hüftkraftvektors ausgehen. Versuche bezüglich der Patientenkinematik mit einem 3D-gedruckten Aufbau zeigten einen vergleichbaren Verlauf zu den Ausgangsdaten wie in Abb. 2 dargestellt.

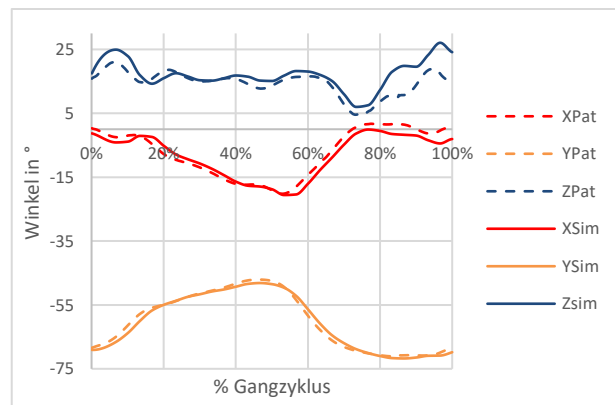


Abbildung 2: Vergleich der Kinematik der Messdaten mit den Ausgangsdaten

Diskussion: Das VIVO ist dank iterativer Lernkurve in der Lage, einen komplexen Hüftkraftvektor unter Voraussetzung einer ausreichenden Zyklenzahl gut zu regeln. Leichte Abweichungen der Kinematik wie sie bei etwa 85% des Gangzyklus auftreten, sind wohlmöglich auf das erkennbare Lagerspiel der Maschine in Extremstellungen sowie auf Verformung der 3D-gedruckten Teile zurückzuführen.

Durch weitere Optimierungen wie der Nutzung rigiderer Bauteile sollen diese Abweichungen weiter minimiert werden. Insgesamt bietet das aktuelle System eine vielversprechende Grundlage zur realistischen in vitro Simulation von Patienten und Reibuntersuchungen.



ACOUSTIC PREDICTION AND BIOMECHANICAL VALIDATION OF PRIMARY STABILITY IN UNCEMENTED SHORT-STEM HIP PROSTHESES: AN EXPERIMENTAL STUDY

Alexander Jahnke (1), Simon Schreynemackers (1), Ahmed Tawous (2), Swantje Petersen (1), Samar Hamad (1), Markus Rickert (2), Bernd Ishaque (2)

1. Laboratory of Biomechanics, Justus-Liebig-University Gießen, Klinikstraße 29, 35392 Gießen
2. Department of Orthopaedics and Orthopaedic Surgery, University Hospital Gießen and Marburg (UKGM), Justus-Liebig-University, Klinikstraße 33, 35392 Gießen

Einleitung: Die Primärstabilität ist entscheidend für den Erfolg zementfreier Hüftendoprothesen. Chirurgen verlassen sich dabei auf taktile und auditive Rückmeldungen, die jedoch frühe kortikale Schäden oder unzureichende Presspassung oft nicht zuverlässig erkennen. Die akustische Analyse von Schlaggeräuschen zeigt Potenzial für eine objektive intraoperative Beurteilung des Implantationsfortschritts [1] und kann Mikrofrakturen im kortikalen Knochen detektieren, um intraoperative Frakturen zu vermeiden. Diese Studie untersucht, ob akustische Signaturen im Frequenzbereich zwischen lockeren, optimalen und frakturierten Fixationszuständen unterscheiden und mit biomechanischen Stabilitätsmessungen korrelieren.

Material und Methoden: Zwölf formalinfixierte humane Femora wurden randomisiert in drei Gruppen (je $n = 4$): loose, fit (optimaler Press-Fit) und fracture eingeteilt. Einschlaggeräusche wurden mit einem geeichten Mikrophon aufgezeichnet. Einzelne Schläge wurden per Onset-Detektor identifiziert und FFT-analysiert. Nach Amplitudennormalisierung und Ausschluss energiearmer Segmente ($< 5\%$) erfolgte die Auswertung in vier Frequenzbereichen nach Fonseca et al. [1]: 0–2,5 kHz, 2,9 kHz, 4,4 kHz und 8,7 kHz. Die distalen Femora wurden in Epoxidharz eingebettet. Messpins an P_p , P_d , B_1 (45 mm prox.), B_2 (30 mm dist.) und B_3 (80 mm dist. des Trochanter minor) ermöglichten die Erfassung minimaler Mikrobewegungen mittels Wirbelstromsensoren unter Torsionsmomenten bis $\pm 3,5$ Nm (fit, loose) bzw. $\pm 1,75$ Nm (fracture). Die akustischen Daten wurden mit Kolmogorov–Smirnov-, Permutations- und Cluster-Permutationstests auf frequenzabhängige Unterschiede geprüft. Mikrobewegungen wurden per Kruskal–Wallis-Test auf Gruppenunterschiede analysiert.

Ergebnisse: Die akustische Analyse zeigte klar unterscheidbare Spektralprofile für „locker“, „passend“ und „frakturiert“. Der Übergang zu „passend“ führte zu signifikanten spektralen Veränderungen, während Frakturen durch erhöhte niederfrequente und abgeschwächte hochfrequente Anteile (>15 kHz) gekennzeichnet waren. Biomechanisch zeigten lockere Präparate die größten Mikrobewegungen, passende eine stabile Pressfit-Fixation und frakturierte minimale Bewegungen infolge Überfixierung. Zwischen allen Gruppen bestanden signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$). Die akustischen Signaturen korrelierten mit der Stabilität und erlauben eine zuverlässige Identifikation von Lockerung, optimalem Sitz und Frakturen.

Diskussion: Die Studie zeigt, dass die frequenzbasierte akustische Analyse zwischen lockeren, passenden und frakturierten Fixationszuständen bei Kurzschaffprothesen unterscheiden kann. Der Übergang zu Frakturen war durch erhöhte niederfrequente und reduzierte hochfrequente Anteile gekennzeichnet, was auf kortikale Schäden hinweist. Mikrobewegungstests bestätigten die Stabilitätshierarchie (locker $\gg$ passend $>$ frakturiert). Akustische Veränderungen traten vor sichtbaren Frakturen auf und könnten somit als Frühwarnsignal für eine Echtzeitüberwachung zur Vermeidung intraoperativer Frakturen dienen.

References

1. Fonseca Ulloa CA, Schreynemackers S et al. Acoustical determination of primary stability of femoral short stem during uncemented hip implantation. Clin Biomech (Bristol). 2023;109:106079.

DGfB
2026
18.-20. März, Hamburg



IN-VIVO BELASTUNG DES HÜFTGELENKS: ERHÖHT EIN ERHÖHTES KÖRPERGEWICHT DIE REIBBELASTUNGEN?

Julian N. Zierke, Alwina Bender, Georg N. Duda, Philipp Damm

1. Julius Wolff Institute, Berlin Institute of Health, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany

Einleitung: Aseptische Lockerung ist eine Hauptursache für Revisionen des Hüftgelenkersatzes [1]. Reibung und Verschleiß gelten als Auslöser solcher Lockerungen. Ein klinischer Zusammenhang zwischen hohem Body-Mass-Index (BMI) und aseptischer Lockerung wird kontrovers diskutiert [2]. In-vitro-Versuche zeigen eine lineare Beziehung zwischen BMI und Reibung [3]. Eigene in vivo Messungen deuten jedoch darauf hin, dass die Reibung im künstlichen Hüftgelenk von mehreren Faktoren abhängt und keine einfache lineare Korrelation zwischen Belastung und Reibung besteht [4]. Daher wurde untersucht, ob eine Erhöhung des Körpergewichts in-vivo zu einer proportionalen Erhöhung der Reibung führt.

Methoden: Die Gelenkbelastungen beim Gehen wurden in vivo mit Hilfe eines instrumentierten Hüftimplantates erfasst [5]. Erste Analysen wurden bei einer 56-jährigen Patientin (BMI 37,7) 43 Monate postoperativ durchgeführt. Erfasst wurde die Gelenkkontaktkraft (Fres) und das Reibmoment (Mres) beim Gehen ohne Zusatzgewicht sowie mit Rucksäcken von 11 kg und 22 kg (Abb. 1A-C).

Ergebnisse: Fres zeigt das typische Doppelpeak-Muster beim Gehen (Abb. 1D) mit einem variablen, nichtlinearen Offset aufgrund des Zusatzgewichtes. Beim normalen Gehen steigt Mres (Abb. 1E) während der Standphase an, erreicht kurz nach dem Contralateral Heel Strike (CHS) sein Maximum, fällt beim Übergang in die Flexionsphase deutlich ab und steigt anschließend wieder an. Nach einer Erhöhung des Körpergewichts um 11 kg ist Mres über den gesamten Gangzyklus erhöht. Eine weitere Erhöhung des Körpergewichts führt dann jedoch nur noch phasenweise zu einem zusätzlichen Anstieg von Mres. Zum Zeitpunkt der höchsten Kontaktkraft ist Mres nun sogar geringer als beim normalen Gehen ohne Zusatzgewichte.

Diskussion: Die Daten deuten auf einen komplexen Zusammenhang zwischen Körpergewicht, Gelenkkontaktkraft und Reibung hin. Während in-vitro-Tests lineare Korrelationen zeigen, stimmen die in-vivo-Daten damit nur eingeschränkt überein. Phasenabhängige Reibungsänderungen während des Gangzyklus sprechen für eine dynamische Schmierung, beeinflusst durch Kontaktkraft und Gelenkinematik. Neben dem Transport von Synovia in und aus dem Gelenkspalt könnten auch die Eigenschaften der Synovia, wie z. B. die Viskosität, die wirkende Reibung beeinflussen. Dies soll in zukünftigen Experimenten genauer untersucht werden.

Danksagung: DFG (Da 1786/5-1 and 5-2) und OrthoLoadClub.

Literatur

1. Lewis et al, Annual Report, Australian Orth. Ass. National Joint Replacement Registry, 2024
2. Wagner et al, JBJS, 98(3):p 169-179, 2016
3. Sonntag et al, Biotribology, 26:100182, 2021
4. Damm et al, Sci Rep, 11:15851, 2021
5. Damm et al, Med. Eng. & Phys., 32:95-100, 2010

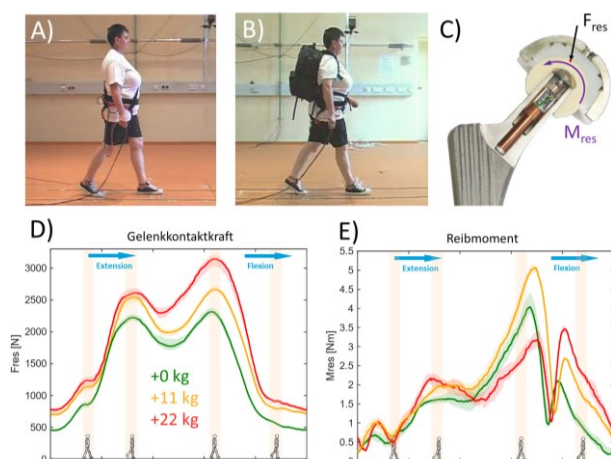


Abb. 1: Durchgeführte Übungen: A) ebenes Gehen und B) ebenes Gehen mit Rucksack (11 kg und 22 kg), C) instrumentiertes Hüftimplantat, D) Verlauf der Gelenkkontaktkraft und des E) Reibmomentes

DGfB
2026
18.-20. März, Hamburg



ANTIBACTERIAL POTENTIAL OF DOPED CARBON COATINGS FOR ENDOPROSTHETIC IMPLANTS

Vadym Voropai (1), Maren Nieher (2), Alexander Kratsch (2), Jessica Bertrand (1), Christoph Lohmann (1), Steffen Weißmantel (2), Joachim Döring (1)

1. Department of Orthopaedic Surgery, Otto-von-Guericke University Magdeburg, Magdeburg, Germany;
2. Laserinstitut Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences Mittweida, Mittweida, Germany

Introduction: Periprosthetic joint infection (PJI) remains one of the most critical complications following joint replacement surgery and is the second leading cause of revision procedures. Recent reports indicate that revision rates due to PJI in Germany in 2025 reach approximately 18.5% for hip implants and 15.2% for knee implants, underscoring the urgent need for improved preventive strategies [1]. Although various approaches have been developed to reduce bacterial colonization on implant surfaces, their effectiveness is increasingly challenged by the growing concern of bacterial resistance to conventional antibiotics [2]. In this context, biocompatible carbon-based coatings doped with antibacterial elements such as silver (Ag), zinc (Zn) or copper (Cu) represent a highly promising alternative.

Methods: Pulsed laser deposition (PLD) was used to apply a 1 µm thick a-C coating onto a polished sample made of 316LVM steel (ISO 5832-1). The top 20 nm of the coating were doped with different concentrations of Ag, Zn, or Cu by alternating between carbon and dopant targets during the coating process. The roughness and hardness of the coatings were measured using a 3D confocal microscope and nanoindentation, respectively. SEM analysis was conducted to evaluate the coating quality and integrity. The antibacterial potential of the coatings was characterized by bacterial tests using both gram-negative (*Escherichia coli*) and gram-positive (*Staphylococcus capitis*) bacteria, which were incubated for 24 h and subsequently stained with DAPI. Fluorescence microscopy enabled quantitative analysis of bacteria on the sample surface. Statistical analysis was performed to assess the measurement results.

Results: The PLD process resulted in a smooth, droplet-free coating. Evaluation of the surface topography showed no significant impact of the coating or the dopants on the surface roughness, which remained in the range of Ra 1 - 2 nm. Doping of the thin top layer did not show any significant effect on the coating hardness. SEM analysis revealed a defect-free coating surface without pinholes, craters or delamination that could make the coating permeable to ion release from the substrate. All dopants at certain concentrations demonstrated significant antibacterial potential by reducing bacterial surface colonization.

Discussion: The results demonstrate that the PLD process enables the fabrication of smooth, defect-free a-C coatings with controlled surface doping using Ag, Zn or Cu. While the coating did not alter the surface topography, it was possible to clearly evaluate the antibacterial effect of the dopants and their concentrations. The dopants performed differently depending on the bacterial species used in the tests, however, all of them demonstrated significant antibacterial potential. These findings highlight doped carbon coatings as a promising strategy for reducing early bacterial colonization on implant surfaces while avoiding the drawbacks associated with antibiotic-based approaches.

Notes: This work is funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (funding program "ZIM", project number 16KN079242).

References

1. Grimberg et al., Endoprothesenregister Deutschland (EPRD). Jahresbericht 2025, 2025.
2. Li et al., J Orthop Res, 36:1:22-32, 2018.



EINFLUSS EINER ABDICHTUNG AUF KORROSIVE PROZESSE UND LEBENSDAUER VON KONUSSCHNITTSTELLEN IN MODULAREN REVISIONSIMPLANTATEN

Lennart Wunderlich (1), Jan Philippe Kretzer (1) und Therese Bormann (1)

1. Sektion für Biomechanik und Implantatforschung, Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg, Deutschland

Einleitung: Ein bekannter Versagensmechanismus modularer Hüftendoprothesen für Revisionsfälle liegt in der Schnittstelle zwischen dem distalen Hüftschaft und dem proximalen Halsteil. Dort auftretende Konusbrüche werden neben Materialermüdung (Dauerbruch) auch auf reibkorrosive Prozesse (Fretting) innerhalb der Schnittstelle zurückgeführt [1]. Unerwünschte Komplikationen können auch aufgrund von im Rahmen von korrosiven Prozessen auftretender Freisetzung von Metallionen stattfinden. Ziel der Studie ist es zu prüfen, ob eine Abdichtung dieser Konusverbindung die korrosiven Prozesse mindern kann und damit eventuell auch Rissbildung und Konusbrüchen vorgebeugt werden kann.

Methoden: Es wurden zunächst zwei verschiedene Konzepte für eine Abdichtung der Schnittstelle untersucht. Die Konusverbindung wurde einerseits mit einer konstruktiv integrierten Abdichtung durch eine konkave Oberfläche am männlichen Konuspartner versehen. Andererseits wurden Proben mit einer Aussparung zur Aufnahme eines O-Rings als Dichtelement untersucht. Um den Einfluss einer Abdichtung auf die Korrosionsbeständigkeit und die Dauerfestigkeit zu untersuchen, wurden die Konusproben dynamisch in einem korrosionsinduzierenden Elektrolyten belastet [2]. Die dynamische Belastung wurde dabei als sinusförmige Druckbelastung zwischen 300 N und 3000 N auf den Prüfaufbau aufgebracht. Fünf abgedichtete Konen wurden mit einer Referenzgruppe aus fünf Proben ohne Abdichtung verglichen. In der ersten Versuchsreihe wurden die Proben zunächst über zwei Millionen Zyklen zur Untersuchung des korrosiven Verhaltens und anschließend über weitere drei Millionen Zyklen zur Analyse des Versagensverhaltens belastet. Zur Charakterisierung der Korrosionsprozesse wurden während der Tests mithilfe eines Potentiostaten der Korrosionsstrom sowie das freie Korrosionspotential gemessen. Außerdem wurden

die Proben vor und nach den Versuchen gewogen um den Materialverlust zu quantifizieren.

Ergebnisse: Die konstruktive Abdichtung durch eine konkave Konusoberfläche erwies sich als nicht wirksam. Im Gegensatz dazu konnte die Verwendung eines O-Rings als Dichtelement eine zuverlässige Abdichtung der Konusverbindung gewährleisten. Über die ersten zwei Millionen Lastzyklen zeigte die abgedichtete Gruppe einen geringeren Gewichtsverlust als die Gruppe der Proben ohne Abdichtung ($0,77 \text{ mg} \pm 0,25 \text{ mg}$ bzw. $3,56 \text{ mg} \pm 1,10 \text{ mg}$, $p = 0,0059$). Der Mittelwert des Korrosionsstroms verringerte sich durch die Abdichtung von $0,96 \mu\text{A} \pm 0,23 \mu\text{A}$ auf $0,04 \mu\text{A} \pm 0,02 \mu\text{A}$. Nach einer Gesamtbelastungsdauer von fünf Millionen Zyklen versagten drei von fünf Proben ohne Abdichtung, während keine der abgedichteten Proben Rissbildungen aufwies.

Diskussion: Die Ergebnisse zum Gewichtsverlust und zum Korrosionsstrom zeigen, dass eine Abdichtung der Konusschnittstelle die korrosiven Prozesse wirksam reduziert. Die Belastungsversuche bis zum Bruch der Verbindung belegen zudem, dass hierdurch eine Erhöhung der Lebensdauer erzielt werden kann. Eine Abdichtung der Konusschnittstelle hat das Potential zur Reduktion implantatbedingter Komplikationen beizutragen. Die Patientensicherheit könnte sowohl in Bezug auf die Metallionenfreesetzung als auch in Bezug auf die Lebensdauer der Verbindung verbessert werden.

Hinweis: Diese Arbeit wurde von der Stiftung Endoprotekt gefördert.

Referenzen

- [1] Danieli C. Rodrigues et al, J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 88(1):206-19, 2009
- [2] Therese Bormann et al, Acta Biomaterialia, 145:427–435, 2022

