



12. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Biomechanik (DGfB)

28.–30. September 2022

Köln

Abstractband

Impressum

Veröffentlichung
September 2022

Wissenschaftliche Leitung und Herausgeber
Prof. Dr. Wolfgang Potthast
Dr. Johannes Funken

Inhaltsverzeichnis

Session 1 • Bewegungsanalyse I	4
Session 2 • Endoprothetik	14
Session 3 • Klinische Studien und Prothetik I.....	25
Session 4 • Implantate/Tribologie/Biomaterialien	35
Session 5 • Gewebebiomechanik	47
Session 6 • Wirbelsäule	55
Session 7 • Klinische Studien und Prothetik II.....	67
Session 8 • Sportbiomechanik I.....	79
Session 9 • Computational Functional Anatomy.....	88
Session 10 • Bewegungsanalyse II	99
Session 11 • Numerische Methoden.....	106
Session 12 • Mechanobiologie	114
Session 13 • Young-Investigator-Award.....	121
Session 14 • Messmethodik	131
Session 15 • Frakturheilung.....	139
Session 16 • Bewegungsanalyse Obere Extremität.....	148
Session 17 • Sportbiomechanik II.....	159
Postersession I • Sportbiomechanik	168
Postersession II • Bewegungsanalyse und Freie Themen.....	175
Postersession III • Frakturheilung und Knochen.....	185
Postersession IV • Klinische Studien	194
Postersession V • Implantate/Tribologie/Biomaterialien.....	202
Postersession VI • Methodik und Freie Themen	209

Session 1 • Bewegungsanalyse I

V1

Kinetik beim Bergab-Gehen auf einer Rampe und einem instrumentierten Laufband

K. Widhalm (Wien/AT), S. Durstberger (Wien/AT), P. Putz (Wien/AT)

Fragestellung

Kinematik und Kinetik beim Bergab-Gehen (BG) wurden bereits untersucht [1, 2]. Es gibt bislang keine Daten bezüglich der vertikalen Bodenreaktionskräfte (BRKv) bei selbstgewählter oder vorgegebener Geschwindigkeit beim BG auf einer 10° geneigten Rampe (BGR) versus einem 10° geneigten instrumentierten Laufband (BGLB).

Methoden

28 Personen (w14/m14; Alter 23,8±3,3 Jahre; BMI 22,3±1,9) gingen bergab auf dem Laufband mit derselben Geschwindigkeit, wie auf der Rampe, und zusätzlich mit selbstgewählter Geschwindigkeit (BGLB-SP). Die Rampe und das Laufband waren jeweils mit zwei KMP (1000 Hz) instrumentiert. Fünf korrekte KMP Treffer wurden für beide Seiten analysiert. Die KMP Daten des Laufbandes wurden mit einem Butterworth Tiefpassfilter (12 Hz, 4. Ordnung) gefiltert. Gangevents wurden über BRKv mit einem Schwellwert von 20 [N] detektiert. Die Gangzyklen wurden zeitnormalisiert und gemittelt. Die BRKv wurde körperrgewichtsnormalisiert [N/kg] und mit zweiseitig gepaarten t-Test ($\alpha = 0,05$) auf Mittelwertdifferenzen, sowie die Übereinstimmung mittels ICC (3,1) überprüft.

Ergebnisse

Die Geschwindigkeit betrug für BGR und BGLB 1,22 m/s, sowie BGLB-SP 1,38 m/s. Bei gleicher Geschwindigkeit differierten die Werte Großteils signifikant mit starkem Effekt ($d \geq 0,8$). Beim Vergleich des BGR mit BGLB-SP war mit $p=0,395$, $d= 0,160$ links und $p=0,091$, $d = 0,326$ rechts keine signifikante Differenz für den Zeitpunkt des ersten BRKv-Gipfels zu finden (Tab. 1). In Tabelle 2 sind die Ergebnisse zur Übereinstimmung für das linke Bein dargestellt.

Schlussfolgerungen

Analog zur Literatur sind Unterschiede zwischen BGR und BGLB erkennbar. Auffällig ist die geringere Spurbreite bei BGLB-SP, welche jedoch stark streut. Bezüglich mechanischer Belastung sind die signifikant höheren Werte für das erste BRKv Maximum und die mittlere Belastungsrate bei BGLB und BGLB-SP gegenüber BGR vertieft zu analysieren.

Ref: [1] Lay A et al 2006, [2] Strutzenberger G et al 2022

Tab. 1

Parameter	BGR vs BGLB (speed-matched)			BGR vs BGLB (self-paced)		
	MW-diff	p	d	MW-diff	p	d
Kadenz [Schritte min ⁻¹]	-4.05	< 0.001	-0.83	-7.042	< 0.001	-1.201
Geschwindigkeit [m/s]	0.01	0.674	0.08	-0.116	< 0.001	-1.16
Spurbreite [m]	0.01	0.023	0.45	0.02	< 0.001	0.85
BRKv max links [N/kg]	-15.67	< 0.001	-1.59	-25.22	< 0.001	-1.71
BRKv max links [%GZ]	-0.48	0.009	-0.52	0.22	0.395	0.16
Belastungsrate MEAN links [N/kg s ⁻¹]	-131.11	< 0.001	-3.68	-125.56	< 0.001	-3.01
BRKv max rechts [N/kg]	-11.62	< 0.001	-1.49	-20.39	< 0.001	-1.68
BRKv max rechts [%GZ]	-0.43	0.085	-0.33	0.49	0.091	0.33
Belastungsrate MEAN rechts [N/kg s ⁻¹]	-131.40	< 0.001	-4.00	-125.11	< 0.001	-3.37

Tabelle 1: Vergleich Bergabgehen Rampe (BGR) vs Bergabgehen Laufband (BGLB)

t-test mit Mittelwertdifferenz (MW-diff), und standardisierte Mittelwertdifferenz (Cohen's d) mit p-Werten aus t-Tests für gepaarte Stichproben ($\alpha = 0,05$); GZ = Gangzyklus

Tab. 2

Parameter (speed-matched)	MW	STABW	ICC (3,1)	ICC KI95	p	SEM
BGR Kadenz [Schritte min ⁻¹]	112.07	6.54	0.62	0.14, 0.84	< 0.001	4.24
BGLB Kadenz [Schritte min ⁻¹]	115.93	6.74				
BGR Geschwindigkeit [m/s]	1.23	0.18	0.94	0.88, 0.97	< 0.001	0.04
BGLB Geschwindigkeit [m/s]	1.21	0.20				
BGR Spurbreite [m]	0.10	0.02	0.52	0.20, 0.74	< 0.001	0.02
BGLB Spurbreite [m]	0.09	0.02				
BGR BRKv max links [N/kg]	130.88	16.60	0.51	-0.10, 0.82	< 0.001	11.81
BGLB BRKv max links [N/kg]	146.56	13.46				
BGR BRKv max links [%GZ]	14.70	1.55	0.81	0.52, 0.91	< 0.001	0.72
BGLB BRKv max links [%GZ]	15.19	1.78				
BGR Belastungsrate MEAN links [N/kg s ⁻¹]	83.08	33.08	0.00	-0.02, 0.05	0.401	70.81
BGLB Belastungsrate MEAN links [N/kg s ⁻¹]	214.19	15.58				
Parameter (self-paced)						
BGR Kadenz [Schritte min ⁻¹]	112.07	6.54	0.40	-0.09, 0.72	< 0.001	5.82
BGLB Kadenz [Schritte min ⁻¹]	119.06	6.70				
BGR Geschwindigkeit [m/s]	1.23	0.18	0.56	-0.05, 0.82	< 0.001	0.14
BGLB Geschwindigkeit [m/s]	1.38	0.20				
BGR Spurbreite [m]	0.10	0.02	0.45	0.00, 0.73	< 0.001	0.02
BGLB Spurbreite [m]	0.08	0.09				
BGR BRKv max links [N/kg]	130.88	16.61	0.27	-0.10, 0.62	< 0.001	17.54
BGLB BRKv max links [N/kg]	156.10	15.79				
BGR BRKv max links [%GZ]	14.70	1.55	0.70	0.46, 0.85	< 0.001	0.95
BGLB BRKv max links [%GZ]	14.49	1.92				
BGR Belastungsrate MEAN links [N/kg s ⁻¹]	83.08	33.08	-0.01	-0.04, 0.05	0.711	69.53
BGLB Belastungsrate MEAN links [N/kg s ⁻¹]	208.64	22.02				

Tabelle 2: Konsistenz Bergabgehen Rampe (BGR) vs Bergabgehen Laufband (BGLB), linkes Bein

Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), ICC (3,1), 95% Konfidenzintervall des ICC (ICC KI95), p ($\alpha = 0,05$) für ICC und Standardmessfehler (SEM); GZ = Gangzyklus

V2

Gelenk- und Gangzyklus-spezifische Zunahme der 3D Kinetik beim Gehen mit Zusatzgewicht

S. Herger (Basel/CH), M. Künzler (Basel/CH), E. De Pieri (Basel/CH), C. Egloff (Basel/CH), A. Mündermann (Basel/CH), C. Nüesch (Basel/CH)

Fragestellung

Beim Gehen auf ebenem Boden wurden die Auswirkungen von zusätzlicher Gewichtsbelastung auf die Gelenkmomente von Sprung-, Knie- und Hüftgelenk bereits untersucht, jedoch lediglich in der Sagittalebene^{1,2}. Ziel dieser Studie war das Bestimmen der Unterschiede der 3-dimensionalen Momente mit normalem Körpergewicht (KG) (100%KG) und mit einer Gewichtsweste um 20% erhöhtem KG (120%KG).

Methodik

Zehn junge gesunde Erwachsene (5m/5f, 27±3 Jahre) gingen mit selbst gewählter Geschwindigkeit mit 100%KG bzw. 120%KG über einen ebenen Gangsteg mit eingelassenen Kraftmessplatten. Die Reihenfolge der Gewichtsbelastung wurde blockrandomisiert. Die Bodenreaktionskraft (GRF) und externen Gelenkmomente (CGM 2.3) wurden in jeweils 6 gültigen Versuchen gemessen. Unterschiede zwischen den Gewichtsbelastungen wurden mittels Statistical Parametric Mapping (gepaarte t Tests, $P < 0.05$) untersucht und als Änderung der Fläche unter der Kurve (Impuls) quantifiziert.

Ergebnisse

Der anteroposteriore und vertikale Anteil der GRF war bei 120%KG während der Standphase überwiegend signifikant um ca. 18% erhöht (Abb. 1). Mit 120%KG erhöhten sich Sprung-, Knie- und Hüftgelenkmomente in allen Ebenen ausser das Sprunggelenksmoment in der Frontalebene (Abb. 2), und der Impuls nahm zwischen 15 und 45% zu.

Schlussfolgerung

Unsere Resultate bestätigten, dass das Tragen der Gewichtsweste zu einer Erhöhung der GRF und der Gelenkmomente führt. Dabei war die gemittelte Zunahme der Momente mehrheitlich im Bereich des Zusatzgewichtes von +20%KG. Da sich die Kinematik während der Standphase nicht zwischen den zwei Gewichtbelastungen unterschied (keine Differenzen $> 3^\circ$; Künzler et al. DGfB 2022), schlussfolgern wir, dass die Gewichtsweste systematisch Gelenkmomente erhöht und so Stress auf Strukturen der Gelenke (Knorpel, Knochen, Bänder) verändert werden kann.

¹Krupenevich et al., 2015, *Mil Med*

²Middleton et al., 2022, *Int J Environ Res Public Health*

Abb. 1

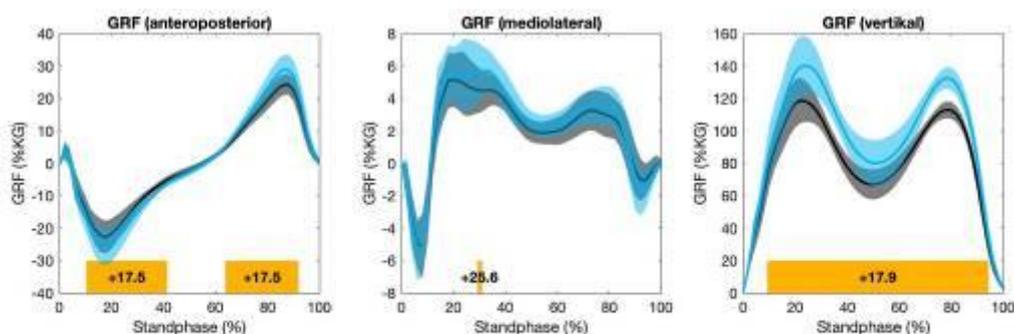


Abb.1: Mittelwerte (SD) GRF; schwarz: 100%KG; blau: 120%KG; Prozentzahl beschreibt die Zunahme des Impulses im gelben ($P < 0.05$) Bereich für 120%KG.

Abb. 2

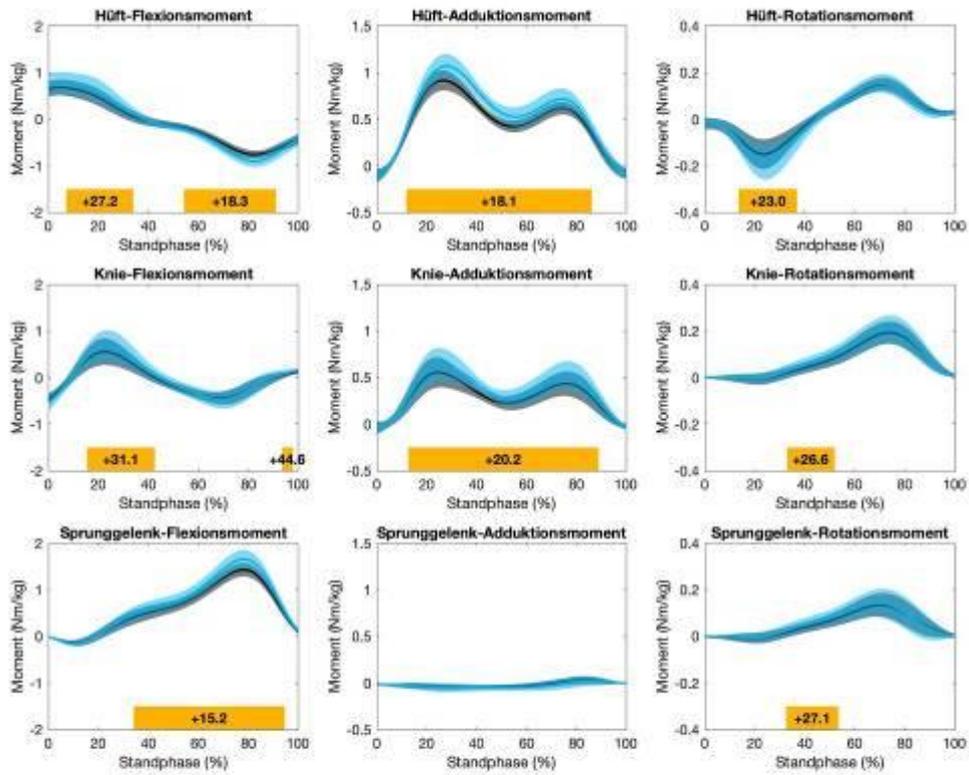


Abb. 2: Mittelwerte (SD) Gelenkmomente für Hüft-, Knie und Sprunggelenk; schwarz: 100%KG; blau: 120%KG; Prozentzahl beschreibt die Zunahme des Impulses im gelben ($P < 0.05$) Bereich für 120%KG.

V3

Auswirkung unterschiedlicher Gewichtsbelastung auf Raumzeitparameter und Gelenkkinematik beim Gehen auf ebenen Boden und auf dem Laufband

M. Künzler (Basel/CH), S. Herger (Basel/CH), E. De Pieri (Basel/CH), C. Egloff (Basel/CH), A. Mündermann (Basel/CH), C. Nüesch (Basel/CH)

Fragestellung

Die Auswirkungen unterschiedlicher Belastungen oder Oberflächenbedingungen, wie Gehen auf ebenem Boden (GB) oder auf einem Laufband (GL), auf die Gangbiomechanik wurden bereits untersucht. Studien, die beide Aspekte kombinieren, sind jedoch rar^{1,2}. Ziel dieser Studie war der Vergleich der Gangbiomechanik zwischen normalem Körpergewicht (KG) (100%KG) und 20% erhöhtem KG (120%KG) beim GB und GL, sowie zwischen GB und GL für 100%KG und 120%KG.

Methodik

Zehn gesunde junge Erwachsene gingen mit selbst gewählter Geschwindigkeit auf ebenem Boden und mit entsprechend angepasster Geschwindigkeit auf dem Laufband. Raumzeitparameter und die Gelenkkinematik wurden gemessen. Unterschiede zwischen den Bedingungen wurden mittels gepaarten t Tests ($p < 0.05$) untersucht.

Ergebnisse

Bei GB und GL wurden bei 120%KG längere Standphasen als bei 100%KG festgestellt. Standphase und Kadenz waren bei GL für beide Belastungsbedingungen höher als bei GB (Tab.1). Die Gelenkkinematik war für alle Kombinationen von Belastung und Oberfläche vergleichbar (Unterschiede $< 3^\circ$), mit Ausnahme einer erhöhten Knieflexion bei GL als bei GB für 100%KG und 120%KG (diff_{100%KG}, $5,2^\circ$; diff_{120%KG}, $4,8^\circ$; Abb.1).

Schlussfolgerung

Die Unterschiede im Kniewinkel hängen vermutlich mit der längeren Standphase und somit einer zeitlichen Verzögerung bei GL zusammen. Somit simuliert das Gehen auf dem Laufband das Gehen auf dem Boden zuverlässig und eine Zusatzbelastung von 20%KG, die symmetrisch am Rumpf angebracht ist, hat keinen relevanten Einfluss auf die Gangbiomechanik.

¹Vickery-Howe et al., 2021, *Ergonomics*

²Kamrud et al., 2018, *Medicine*

Tab. 1: Mittelwerte (Standardabweichung) der Raumzeitparameter für 100%KG und 120%KG bei GB und GL.

Raumzeitparameter	GB		GL		Signifikante Unterschiede
	100%KG	120%KG	100%KG	120%KG	
Geschwindigkeit [m/s]	1.43 (0.18)	1.41 (0.21)	1.44 (0.16)	1.44 (0.16)	
Kadenz [Schritte/min]	111.7 (7.7)	111.5 (10.0)	113.9 (7.9)	114.3 (8.1)	C, D
Doppelschrittzeit [s]	1.079 (0.081)	1.085 (0.113)	1.059 (0.084)	1.055 (0.084)	C, D
Doppelschrittlänge [m]	1.531 (0.121)	1.516 (0.126)	1.513 (0.123)	1.506 (0.109)	
Schrittzeit [s]	0.543 (0.038)	0.544 (0.056)	0.529 (0.037)	0.527 (0.037)	C
Schrittlänge [m]	0.762 (0.055)	0.754 (0.054)	0.755 (0.058)	0.752 (0.054)	A
Standphase [%]	61.0 (1.3)	62.1 (1.4)	63.5 (0.8)	63.8 (0.7)	A, B, C, D
Standzeit [s]	0.659 (0.061)	0.675 (0.083)	0.673 (0.061)	0.673 (0.060)	

Signifikante Unterschiede: gepaarte t-Tests ($p < 0.05$): A: 120%KG vs. 100%KG GB, B: 120%KG vs. 100%KG GL, C: 100%KG GL vs. 100%KG GB, D: 120%KG GL vs. 120%KG GB.
 KG – Körpergewicht; GB – Gehen auf ebenen Boden; GL – Gehen auf dem Laufband

Abb. 1

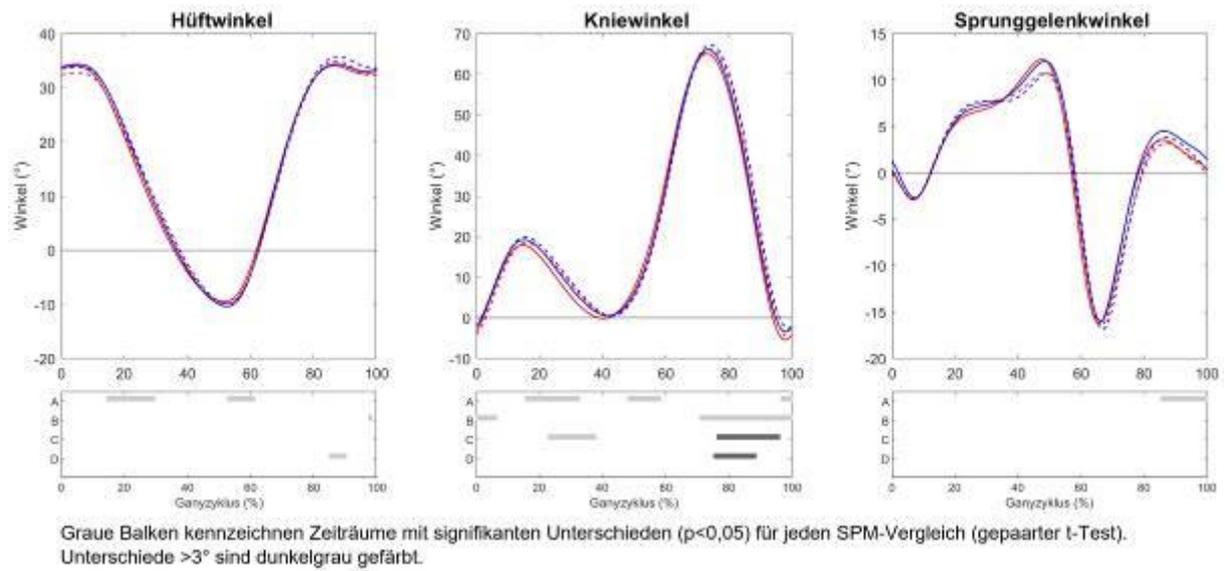


Abb. 1 Mittlere sagittale Gelenkwinkel für Hüfte, Knie und Sprunggelenk für 100%KG (rot) und 120%KG (blau) bei GB (durchgezogene Linie) und GL (gestrichelte Linie).

V4

Beeinflusst das Hören von Hörbüchern das Gangverhalten?

A. Atakanova (Aachen/DE), T. Laurentius (Aachen/DE), C. Bollheimer (Aachen/DE), F. Hildebrand (Aachen/DE), H. L. Siebers (Aachen/DE)

Laut Statistik ist eine zunehmende Beliebtheit und erhöhter Konsum von Hörbüchern zu verzeichnen¹. Dabei findet häufig ein paralleler Einsatz von Audiodateien zu anderen (Bewegungs-) Aktivitäten statt. Kognitive Aufgaben, wie das Hören eines Hörspiels, können zu einer Beeinträchtigung der Lokomotion führen². Ziel dieser Studie war die Untersuchung des Gangverhalten mit und ohne ein gleichzeitiges Hörbuchhören.

Es wurden bei 40 gesunden Proband*innen (73% Frauen, 24±4 Jahre, 172±8 cm, 66±13 kg) zweimal jeweils 5 Minuten lang die spatio-temporalen Gangparameter (wie Schrittlänge, Schrittbreite etc.) und Bodenreaktionskräfte mittels einem instrumentierte Laufband (Zebris FDM) detektiert. Dabei wurde zufällig jeweils einmal ohne akustische Reize (Single-Task "ST") und einmal während dem Hören eines Hörbuchs (Dual-Task "DT") gemessen. Die kognitive Belastung wurden mittels NASA Task Load Index erfasst. Eine statistische Auswertung fand mittels gepaartem t-Test mit $p \leq 0,05$ statt.

Die untersuchten Gangparameter zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen ST und DT, obwohl die subjektive kognitive Belastung beim DT signifikant höher war ($p=0,02$). Proband*innen, die beim Gehen selten Audiodateien hörten, wiesen eine längere Schwungphasen ($p=0,005$) und eine höhere Belastung auf der Ferse ($p=0,002$) auf, als Proband*innen, die gewöhnt waren, parallel Audiodateien zu hören.

Es zeigten sich bei den Proband*innen keine relevanten Unterschiede im Gangverhalten durch den akustischen Reiz, was im Einklang mit Potvin et al. Steht 4. Es konnte aber ein signifikanter Unterschied zwischen Personen mit unterschiedlichem Hörverhalten festgestellt werden. Dies deutet auf einen Lern- oder Gewöhnungsprozess hin, was die zeitgleiche Bewältigung lokomotorischer Aufgaben und einem akustischen Reiz angeht.

1. Statista (2021). Hörbücher
2. Al-Yahya E et al (2010). Neurosci Biobehav Rev. 35
3. Bishnoi A et al (2020). Aging Ment Health. 25(9)
4. Potvin-Desrochers A et al (2017). Gait Posture. 57

V5

Effects of soft tissue artifacts on the calculated kinematics of the knee during walking and running

W. Wang (Köln/DE, Shanghai/CN), J. Li (Shanghai/CN), J. Viellehner (Köln/DE), I. Komnik (Köln/DE), S. Wang (Shanghai/CN), W. Potthast (Köln/DE)

Background: Kinematics of the knee during gait has mostly been studied using optoelectronic motion capture systems (MCS). However, the soft tissue artifacts (STA) between skin-mounted markers and the underlying bones pose a major limitation to accurate measurement of joint kinematic. In this study, we employed a combined high-speed dual fluoroscopic imaging system (DFIS) and the magnetic resonance (MR) imaging technique as the "gold standard" to determine the effects of STA on the calculation of knee joint kinematics during walking and running.

Methods: Ten adults walked and ran while data were acquired simultaneously from MCS, and high-speed DFIS. For comparisons between the results obtained from MCS and high-speed DFIS, a paired t-test was used. Knee joint rotation (knee flexion-extension, internal-external rotation, and varus-valgus rotation) errors were expressed as the absolute error between the results obtained from the MCS and high-speed DFIS.

Results: The data indicate that measured STA caused underestimation of knee flexion. The knee external rotation and varus rotation were overestimated. The absolute error values of the skin markers derived from knee flexion-extension, internal-external rotation, and varus-valgus rotation during walking were $-3.2 \pm 4.32^\circ$, $4.6 \pm 3.08^\circ$, and $4.5 \pm 3.15^\circ$ respectively, and running were $-5.8 \pm 5.37^\circ$, $6.6 \pm 3.66^\circ$, and $4.8 \pm 2.45^\circ$ respectively. Average errors relative to the "gold standard" during walking were 78% for flexion-extension, 271% for internal-external rotation, 265% for varus-valgus rotation, and 43%, 106% and 200% during running respectively.

Conclusion: These results offer a reference for the interpretation of MCS data similar to the current protocol and will be useful for future development of compensation methods to correct for the effects of STA.

V6

Verändert das Altern die Art, wie wir uns drehen?

T. Gerhardy (Heidelberg/DE), L. Schmidt (Heidelberg/DE), H. W. Wahl (Heidelberg/DE), S. Steib (Heidelberg/DE), L. Sloot (Heidelberg/DE)

Fragestellung Etablierte Untersuchungen des Sturzrisikos beschränken sich auf geradliniges Gehen, während das Drehen anspruchsvoller ist und bei Stürzen zu schwereren Verletzungen führt. Bisher gibt es nur begrenzte biomechanische Erkenntnisse über Unterschiede in der Drehbewegung ältere und jüngere Erwachsener. Daher untersucht diese Studie die Drehstrategie bei älteren (ÄE) im Vergleich zu mittelalten (ME) und jüngeren Erwachsenen (JE).

Methoden N=41 Teilnehmende, 17 ÄE (7f, 70-92 Jahre), 10 ME (8f, 40-65 Jahre) und 14 JE (6f, 18-35 Jahre) absolvierten je drei 45° und 90° Drehungen (Abb. 1A), die Short Physical Performance Battery (SPPB) und den Timed Up and Go (TUG). Motion-Capturing-Daten wurden aufgezeichnet. Für die erste Analyse wurden die Drehstrategie (spin- vs. step-Drehung) und die Anzahl der Schritte während der Drehung erfasst (Abb. 1B, C). Eine ANOVA mit Tukey-HSD Post-hoc-Test wurde durchgeführt und ein Summenscore der gewählten Strategie gebildet (niedrigerer Score zeigt Tendenz zur step-Drehungen).

Ergebnisse ÄE zeigten reduzierte funktionelle Mobilität im TUG (ÄE 10,55±1,7 Sek vs. ME 9,0±2,0 Sek; JE 8,1±1,9 Sek; JE - ÄE p=.007; ME - ÄE p=.065) und SPPB (ÄE 10,2±2,1 vs. ME 11,8±0,3; JE 12±0; JE - ÄE p=.003; ME - ÄE p=.022). Um eine 45°-Drehung auszuführen, tendierten ÄE dazu, sich auf step-Drehungen zu verlassen (Summenscore 1,3), während ME und JE höhere Wert von 1,7 bzw. 1,8 aufwiesen (JE und ÄE p=.001). ÄE machten bei einer 45°-Drehung 5% mehr Schritte als ME (p=.04) und 11% mehr als JE (p=.001).

Schlussfolgerung Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ÄE vorsichtiger drehen, da sie häufiger die Variante der step-Drehung wählen und mehr Schritte machen. Interessanterweise verließen sich ÄE mehr auf spin-Drehungen, um 90° Drehungen durchzuführen. Dies wirft die Frage auf, welche Faktoren die Drehstrategie beeinflussen. Derzeit analysieren wir zusätzlich erhobene Motion-Capturing-Daten, um potenzielle Parameter für Sturzgefahren zu untersuchen.

Abb. 1

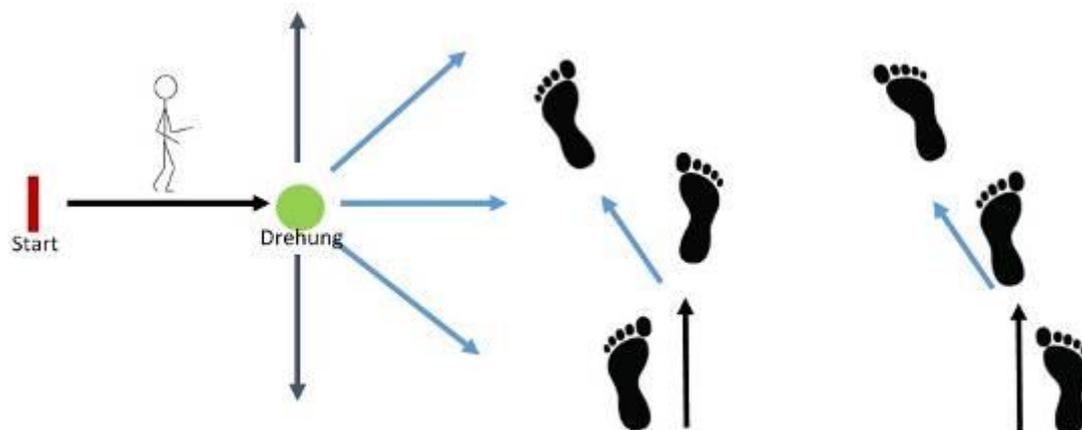


Abbildung 1: A Laboraufbau und Bewegungsrichtung; B step-Drehung nach links; C spin-Drehung nach links der Drehung

V7

The effects of video anonymization in markerless tracking on running kinematics

N. Enslin (Offenburg/DE), D. Fohrmann (Hamburg/DE), P. Mai (Offenburg/DE, Köln/DE), L. Robertz (Köln/DE), K. Bill (Köln/DE), M. Kurz (Östersund/SE), W. Potthast (Köln/DE), S. Willwacher (Offenburg/DE)

Purpose

To explore the effects of video anonymization procedures on running kinematics when using (Theia) markerless motion capture.

Methods

18 runners ran on an instrumented treadmill at 2.5 m/s. A video anonymization algorithm based on Google's open-source library MediaPipe Pose [1] was used to detect runners. Faces were anonymized by a normalized box filter (blur) or a black bar (black). Theia markerless and Visual3D were used to calculate full-body kinematics in the non-anonymized and anonymized conditions. Stance phases (on average 51 per runner) were identified using the treadmill force data. Minimum and maximum ankle, knee and hip joint angles and 3D center of mass (COM) locations during stance were compared using Bland Altman plots.

Results

Joint angle offset (systematic error) values varied from -0.5° - 0.5° , while limits of agreement (LoA) (random error) values ranged from 0.04° - 2.08° . When normalizing error parameters to the range of motion (ROM) during stance within the respective plane for each joint, offsets ranged from -10.6% - 6.3% and LoAs from 1.1% - 47.9% . For COM locations offset varied from 0 mm - 8 mm, while LoA values ranged from 1 mm - 7 mm. When normalizing error parameters to the ROM during stance within the respective axis, we found offset values from -4.6% - 10.7% and LoA from 2.1% - 38.7% . For joint angles and COM the largest normalized offsets and LoAs occurred in the black condition.

Conclusion

We provide the first evaluation of the Theia markerless system when participant faces are anonymized using two common methods. For many joint angle/movement plane combinations the systematic and random error values seem to be in an acceptable range for common movement analysis applications. Rather than just examining discrete parameters, future studies could take a functional approach to verify if, for example, the timing of peak values remains unchanged.

Reference

[1] <https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose.html>

Abb. 1

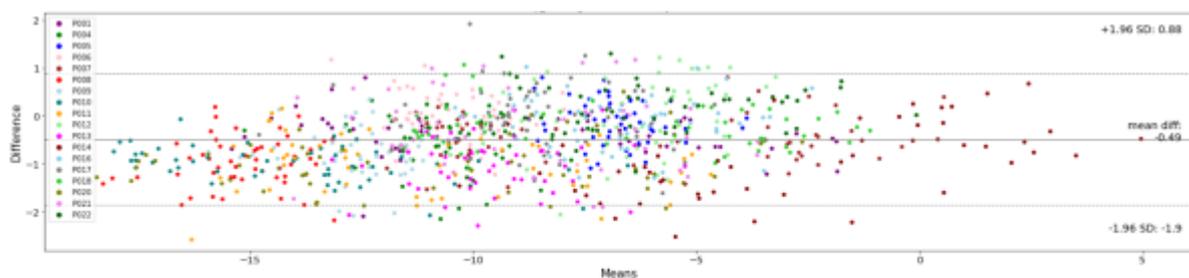


Figure 1: Example Bland-Altman-plot showing the results for the minimum hip angle in the frontal plane (i.e., maximum hip abduction) between black and non-anonymized conditions.

Session 2 • Endoprothetik

V8

Genauigkeitsmessung verschiedener markerbasierter Bewegungsanalysesysteme für biomechanische

Anwendungen: Ein Ringversuch

S. Schroeder (Heidelberg/DE), S. Jäger (Heidelberg/DE), J. Schwer (Ulm/DE), A. M. Seitz (Ulm/DE), I. Hamann (Dresden/DE), M. Werner (Dresden/DE), C. Thorwächter (München/DE), I. Santos (München/DE), T. Wendler (Leipzig/DE), D. Nebel (Hannover/DE), B. Welke (Hannover/DE)

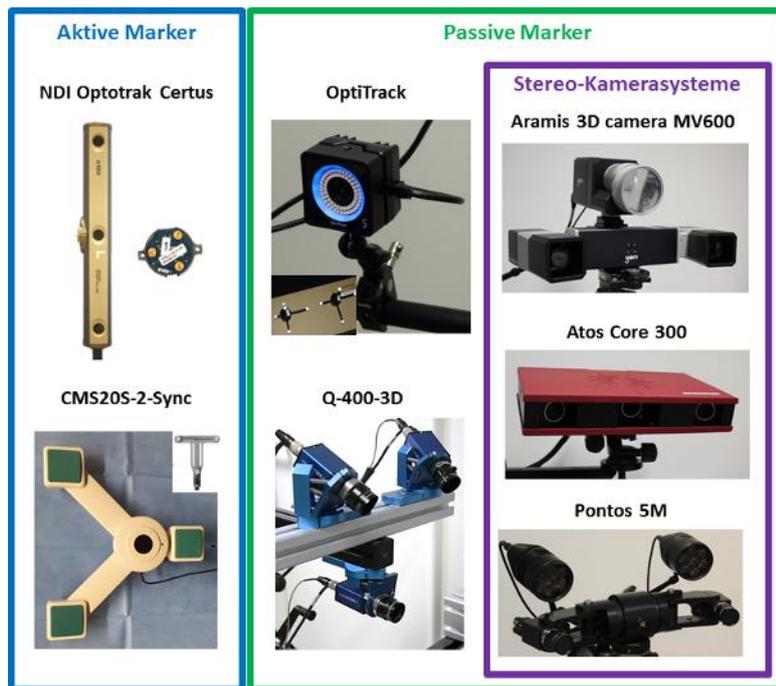
Aufgrund der zunehmenden Messgenauigkeit gewannen markerbasierte Bewegungsanalysesysteme das Interesse für biomechanische Forschungsbereiche in denen hohe Genauigkeiten erforderlich sind, wie die Messung der Gelenkkinematik oder die Implantatverankerung. Im Rahmen eines Ringversuchs sollten daher sieben verschiedene Messsysteme aus sechs Biomechaniklaboren hinsichtlich ihrer Genauigkeit untersucht werden, um deren biomechanische Anwendungsgebiete zu beurteilen (Abb. 1: Kamerasysteme).

Dabei handelt es sich um zwei aktive Markersysteme (eines mit Ultraschallmarkern und eines mit Infrarotmarkern) sowie um fünf passive Markersysteme (drei verschiedene Stereo-Kamerasysteme, ein multiples Kamerasystem mit Rigid Body-Markern und ein multiples Kamerasystem mit Speckle-Muster). Die Genauigkeit wurde auf Grundlage zweier Referenzsystemen (Koordinatenmessmaschine für Translationen bis 100 mm und manuelle Verstelleinheit für kleine Translationen sowie Rotationen) bestimmt.

Die höchsten Messfehler wies das Messsystem mit aktiven Ultraschallmarkern auf, mit Messfehlern bis zu mehreren hundert Mikrometern, gefolgt von dem anderen aktiven Marker-Messsystem mit Infrarotmarkern. Die höchste Messgenauigkeit erzielten die drei Stereo-Kamerasysteme (meist $< 20 \mu\text{m}$). Das multiple Kamerasystem, welches ein Speckle-Muster verwendet zeigte geringfügig höhere Messfehler als die drei Stereo-Kamerasysteme. Das Kamerasystem, das Rigid-Body-Marker verwendete, zeigte nur geringfügig niedrigere Messfehler als das aktive Infrarot-Markersystem.

Die Stereo-Kamerasysteme eignen sich für hochpräzise Messungen in kleinen Volumina (z.B. Implantatverankerung), die aktiven Markersysteme sowie die passiven multiplen Kamerasysteme hingegen eignen sich eher für größere Bewegungen (z.B. Gelenkkinematik). Neben der Messgenauigkeit stellen weitere Faktoren wie die Messfrequenz, das Messvolumen oder das Markerprinzip Indikatoren dar, um das passende Messsystem für eine biomechanische Anwendung zu wählen.

Abb. 1



V9

Rundes Patelladesign vs. ovales Patelladesign beim Patellarrückflächenersatz: Ist die patellofemorale Kinematik vom Design des Patellaersatzes beeinflusst?

M. Woiczinski (München/DE), C. Thorwächter (München/DE), I. Dupraz (Tuttlingen/DE), T. M. Grupp (München/DE, Tuttlingen/DE), V. Jansson (München/DE), P. E. Müller (München/DE), A. Steinbrück (München/DE)

Es wird angenommen, dass nach Implantation einer Knie totalendoprothese (KTEP) und die damit verbundene Veränderung des Patella-Trackings in einem hohen Maße zur Problematik des vorderen Knieschmerzes beiträgt. Ohne Zwangsführung ist ein schmerzfreier Verlauf der Patella am ehesten wahrscheinlich. Ziel dieser Studie war es die Auswirkung unterschiedlicher Retropatellarersatzes kinematisch im Kniegelenk zu untersuchen. 10 fresh frozen Kniegelenkpräparate wurden mit einem kraftgesteuerten Kniegelenksimulator getestet. Die patellofemorale Kinematik wurde während einer simulierten Kniebeuge von 30° - 130° Flexion unter konstanter Gewichtskraft von 50 N aufgenommen. In einem ersten Schritt wurde nach der Implantation einer posterior stabilisierenden Knie totalendoprothese ohne Retropatellarersatz mit natürlicher Patella eine Kniebeuge für jedes Kniegelenk vollzogen. Anschließend wurde der Retropatellarersatz in jedem Kniegelenk auf ein "rundes Design" und im Anschluss auf ein "ovales, leicht medialisiertes Design" gewechselt. Bei 30 Grad Flexion liegt die Differenz des patellofemorale Tilt zur nativ belassenen Patella beim runden Design im Mittel bei $4,6 \pm 5,3$ Grad (lateraler Tilt) und beim ovalen Design bei $5,9 \pm 4,9$ Grad (lateraler Tilt). Bei höheren Flexionsgraden (120 Grad) reduziert sich die Differenz auf $-0,5 \pm 2,0$ Grad (medialer Tilt) für das runde Design und auf $2,3 \pm 2,3$ Grad (lateraler Tilt) für das ovale Design. Bei 30 Grad liegt die Differenz des patellofemorale Shiftes zur nativen Patella beim runden Design im Mittel bei $1,0 \pm 1,5$ mm (lateraler Shift) und beim ovalen Design bei $0,7 \pm 1,7$ mm (lateraler Shift). Bei höheren Flexionsgraden bleibt diese Differenz annähernd gleich. Der patellofemorale Tilt und Shift wird durch die Implantation einer Knie TEP mit retropatellaren Ersatz beeinflusst, im Vergleich zu ohne Retropatellarersatz. Ein kinematischer Unterschied im retropatellaren Lager zwischen ovalen und runden Design konnte in dieser Studie nicht nachgewiesen werden.

V10

Very early migration of a neck preserving short stem – What happens between surgery and first weight bearing?

M. Schwarze (Hannover/DE), C. Hurschler (Hannover/DE), A. Derksen (Hannover/DE), Y. Noll (Hannover/DE), S. Budde (Hannover/DE)

Introduction

Previous studies of short stems have revealed a distinct pattern of migration in cementless short stem THA: Many individual prostheses show an initial migration of around 1mm between post-operative examination and the first follow-up at three months. The RSA-ISO standard recommends the reference examination "within five days, preferably before weight bearing"[1]. Since the usual procedure in our clinic is to allow full weight bearing at the first postoperative day, it is unknown which amount of migration occurs between surgery and the usual examination at the day of discharge. One of the goals of this study was to determine the exact course of the very early postoperative migration within the first three months.

Methods

Sixty patients were included in the study. The primary endpoint of the study is the difference in migration depending on surface coating and stem shape of the A2 short stem (Artiqo, Germany) after 24 months and will be determined in early 2023. RSA examinations were conducted at the day of surgery or in the morning of the post-operative day before any loading of the affected leg, at hospital discharge, 1.5, 3, 6, 12 and 24 months post-operatively. Resulting migration over time was calculated three-dimensionally using bone markers and CAD models.

Results

All sixty patients have completed at least the six months examination. Average resulting migration was 0.28mm at discharge and 0.61mm at six weeks. Neither the difference in migration between stem coatings (Fig. 1) nor shape (Fig. 2) was significant at any point in time.

Discussion

There is some migration occurring during the first days of prosthesis usage, that would not be detected when using the radiographs at discharge day as reference. However this migration is only marginal, indicating that the major initial settling of the implant takes place between discharge and six weeks post-operatively.

Abb. 1

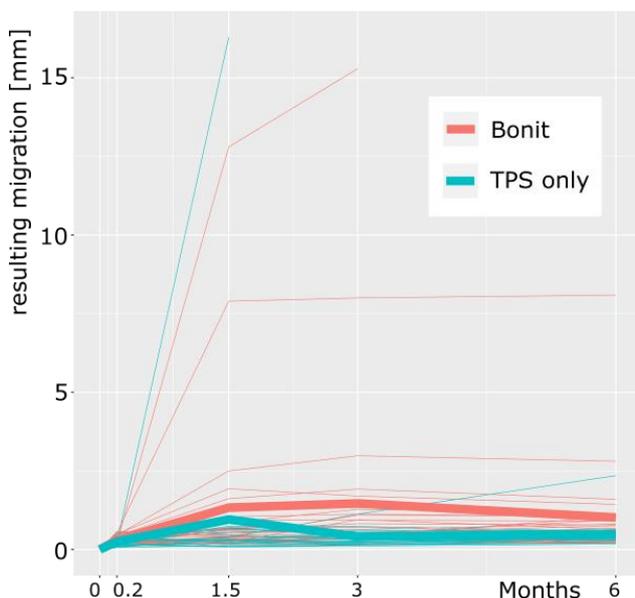
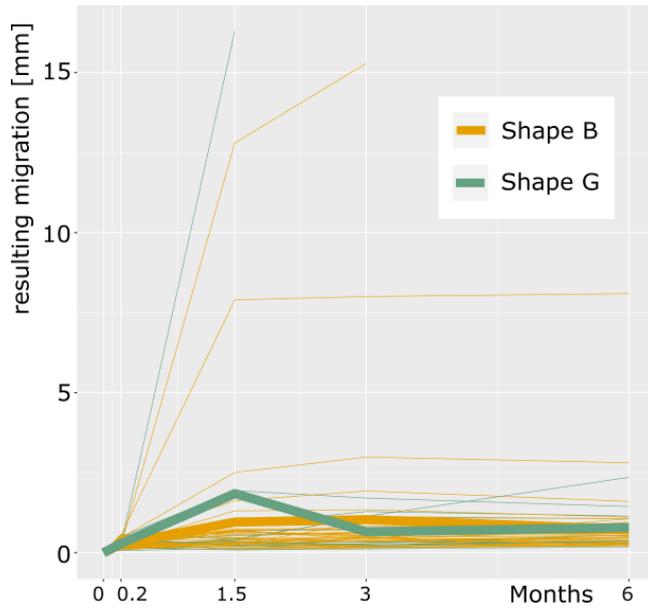


Abb. 2



V11

Welcher posteriore tibiale Slope sollte bei einer MS Prothese verwendet werden? Eine experimentelle in vitro Studie

L. Bauer (München/DE), C. Thorwächter (München/DE), A. Steinbrück (München/DE, Augsburg/DE), V. Jansson (München/DE, Berlin/DE), H. Traxler (Wien/AT), Z. Alic (Wien/AT), B. M. Holzapfel (München/DE), M. Woiczinski (München/DE)

Fragestellung:Die Patientenzufriedenheit nach einer Knie-Totalendoprothese (TEP) endet heutzutage immer noch mit bis zu 20% unzufriedenen Patienten. Die Implantatposition während der OP beeinflusst die Kniebewegung und ist daher ein Schlüsselfaktor für eine natürliche Bewegung und einen zufriedenen Patienten. Der posteriore tibiale Slope (PTS) ist einer der wichtigsten Faktoren. Bislang gibt es kaum Literatur mit Empfehlungen für das PTS bei einer medial stabilisierten (MS) Prothese. Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einfluss verschiedener PTS auf ein MS-Design in Bezug auf die femorotibiale Kinematik zu untersuchen.

Methoden:Es wurden 7 Humanpräparate verwendet und eine MS-Prothese mit 0°, 3° und 6° PTS in jeweils derselben Leiche getestet. Nach der Prüfung des 3° PTS wurde eine maßgefertigte Platte unter dem Inlay positioniert, um das anfängliche 3° PTS auszugleichen und somit ein 0° PTS darzustellen. Schließlich wurde für erneut eine Platte eingesetzt, die die anfängliche 3° PTS um weitere 3° erhöhte, um ein 6° PTS zu erzeugen. Nach der Implantation wurde eine gewichtstragende Kniebeugung (30-130°) mit einer experimentellen Kniekinemator durchgeführt und die Kinematik analysiert.

Ergebnis:Alle PTS führten zu einem femoralen Rollback. Mit einem 3° PTS konnte der gewünschte mediale Rotationspunkt am besten erreicht werden. Mit zunehmendem PTS wurde die Tibia mehr nach anterior auf der lateralen Seite verschoben. Für die verschiedenen PTS-Varianten konnte kein Unterschied in der Tibiarotation festgestellt werden. Alle PTS führten zu einer tibialen Innenrotation.

Schlussfolgerung:Die wichtigste Erkenntnis der vorliegenden Studie war, dass ein 3°-PTS im Vergleich zu den verschiedenen PTS-Varianten die geringste Abweichung von der nativen Situation und einen gewünschten medialen Rotationspunkt zeigte, insbesondere bei niedrigeren Flexionsgraden. Nach unseren Ergebnissen empfehlen wir ein PTS von 3° bei der Implantation der in dieser Studie verwendeten MS-Prothese.

V12

Der Einschläger macht den Unterschied

S. Jäger (Heidelberg/DE), M. Schonhoff (Heidelberg/DE), T. Bormann (Heidelberg/DE), T. Renkawitz (Heidelberg/DE), J. P. Kretzer (Heidelberg/DE)

Einleitung:

Die Implantation einer zementfreien Hüftpfanne kann eine gewisse Gratwanderung darstellen. Es kann relevant sein welche Kraftspitzen unterhalb der Pfanne erreicht werden. Ein möglicher Einflussfaktor der Impaktionskraft kann dabei das Instrumentarium sein. Daher haben wir in einer in-vitro Studie die Kraftspitzen am Pfannenboden unter Verwendung unterschiedlicher Instrumentarien, Pfannengrößen und Implantationswinkel untersucht.

Material und Methoden:

Es wurde ein Hüftpfannensystem mit 2 Implantatgrößen (MRS-TITAN, Size 60/68, Peter Brehm) mit 8 unterschiedlichen Instrumenten (Gruppe A-H) impaktiert. Der Impaktionswinkel wurde orthogonal zum Pfannenboden mit 0° und 28° untersucht.

Die Implantationskraft wurde durch einen Fallhammer normiert. Die resultierenden Kraftspitzen wurden mit einem piezoelektrische Kraftsensor unterhalb der Hüftpfanne erfasst. Für die Gruppen A und B wurde das identische Instrumentarium verwendet. Allerdings wurde es in Gruppe A mit der Pfanne verschraubt wie es der Hersteller vorgesehen hat und in Gruppe B nicht verschraubt aufgesetzt.

Ergebnisse:

Impaktionswinkel 0°:

Bei den Größen 60 (1077,8-3718,1 N) und 68 (909,5-2565,6 N) ergaben sich für die Gruppen A-F signifikante Unterschiede, $p < 0,001$.

Impaktionswinkel 28°:

Bei den Größen 60 (1097,3-3610,8 N) und 68 (1274,1-3398,6 N) ergaben sich für die Gruppen C-H signifikante Unterschiede, $p < 0,001$.

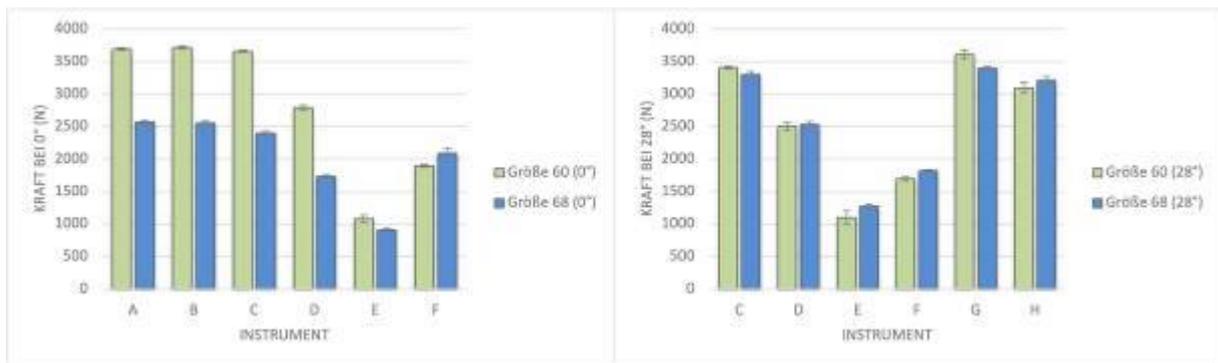
Schlussfolgerung:

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kraftspitze unterhalb der Hüftpfanne signifikant vom Design des Instrumentariums abhängt. Dies war ebenfalls bei unterschiedlichen Implantatgröße und dem Implantationswinkel zu beobachten. Für die klinische Anwendung könnte das bedeuten, dass durch die Wahl des Einschlägers unterschiedliche Primärstabilität entstehen könnten und sich das intraoperative Frakturrisiko verändert. Dies gilt es jedoch in weiterführenden Studien zu untersuchen.

Abb. 1



Abb. 2



V13

Zusammenhang zwischen der Kraftfähigkeit der Knieextensoren und der sagittalen Kniegelenksmechanik bei Patienten mit Knie totalendoprothetik

F. Kalde (Köln/DE), R. Maier (Offenburg/DE)

Einleitung: Patienten mit einer Knie totalendoprothese (KTEP) weisen häufig ein verändertes Extensions-Flexionsmuster des betroffenen Gelenks im Vergleich zu gleichaltrigen unverletzten Personen im Gang auf¹. Ein verändertes Flexionsmuster mit reduzierten Flexionsmomenten beschreiben McClelland et al. (2007) als Quadrizeps-Vermeidungsmuster im Gang. Es soll nun überprüft werden, inwieweit eine reduzierte Kraftfähigkeit der Knieextensoren (KEx) im Zusammenhang mit einer veränderten Kinematik und Kinetik bei Patienten mit KTEP steht.

Methodik: 47 Patienten mit unilateraler KTEP (62,9±7,8 Jahre; 176,3±7,4cm; 85,7±12,4kg) unterzogen sich einer 3D-Bewegungsanalyse beim Heruntergehen einer Rampe sechs Monate post OP. Die Winkeländerung vom Initialkontakt bis zur max. vGRF und der Flexionswinkel und das Flexionsmoment bei max. vGRF wurden ermittelt. Zusätzlich erfolgte eine isokinetische Kraftdiagnostik der KEx. Als Kontrollgruppe (KG) agierten 47 gesunde Probanden (62,9±5,2 Jahre; 173,5±8,8cm; 71,4±13,8kg).

Ergebnisse: Patienten mit KTEP weisen signifikant geringere Knieflexionsmomente, -flexionswinkel und Winkeländerung im Vergleich zur KG ($p < 0,01$) auf. Die Kraftdiagnostik verdeutlicht signifikant geringere Maximalkraftfähigkeiten der KEx der betroffenen Seite ($0,97 \pm 0,05$ Nm/kg) im Vergleich zur kontralateralen Seite ($1,32 \pm 0,06$ Nm/kg) und der KG ($1,64 \pm 0,05$ Nm/kg). Innerhalb der Untersuchungsgruppen zeigen sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Kraft der KEx und dem Flexionsmoment, -winkel und der Winkeländerung.

Diskussion: Ein Kraftdefizit der KEx kann nicht ausschließlich als Ursache eines veränderten Flexions-Extensionsmusters bei Patienten mit KTEP herangezogen werden. Eine Ganganalyse zur Funktionsüberprüfung und Therapiegestaltung stellt sich daher als ergänzendes Diagnostiktool dar.

¹ McClelland, J. A., Webster, K. E., & Feller, J. A. (2007). Gait analysis of patients following total knee replacement: a systematic review. *The Knee*, 14(4), 253-263.

V14

Kinematischer Vergleich zwischen kinematischem und mechanischem Alignment von Knie-TEPs bei CPAK1 Patient:innen

A. K. Einfeldt (Hannover/DE), M. Ettinger (Hannover/DE), H. Windhagen (Hannover/DE), P. Savov (Hannover/DE), L. Tücking (Hannover/DE), E. Jakobowitz (Hannover/DE)

Einleitung: Funktionelle Scores konnten die Überlegenheit des kinematischen Alignments (KA) gegenüber dem mechanischen Alignment (MA) nachweisen [1]. Ganganalytisch dagegen sind teils konträre Ergebnisse publiziert [2,3].

Methodik: Eingeschlossen wurden 13 KA- und 14 MA-Patient:innen (KAP, MAP) einer CPAK 1 Subgruppe (präoperative (prä-OP) CPAK 1 = Varus: $> 2,5^\circ$) aus einer prospektiven Studie (34 KAP, 40 MAP) sowie 9 gesunde Controls (C). KAP und MAP absolvierten einen Tag prä-OP und ein Jahr post-OP eine Laufbandanalyse mit maximaler Gehgeschwindigkeit. Mithilfe eines speziellen Markermodells und eines Optimierungsalgorithmus (inverse Dynamik) konnte die 6-DOF-Kniekinematik bestimmt werden. Zum Gruppenvergleich wurde SPM genutzt.

Ergebnisse: Prä- sowie post-OP zeigten sich keine kinematischen Unterschiede zwischen KAP und MAP. Im Vergleich zur C-Gruppe zeigen sich post-OP bei KAP und MAP eine Varusstellung in der Schwungphase ($p = 0,01$), während die C-Gruppe eine Valgusstellung aufweist. In der terminalen Standphase zeigen die MAP eine Kniebeugung von $6,7^\circ$ ($C = -0,7^\circ$; $KAP = 6,1^\circ$) und unterscheiden sich somit signifikant von der C-Gruppe ($p = 0,01$; Abb. 1). Bei der AP-Translation zeigen die KAP tendenziell eine bessere Annäherung an die C-Gruppe als die MAP, da die KAP einen größeren ROM aufweisen ($KA = 21,4$ mm, $MA = 15,3$ mm, $C = 34,8$ mm; Abb. 2).

Schlussfolgerung: Erstmals konnte in dieser Studie die 6-DOF-Kniekinematik von KAP und MAP prä- sowie post-OP bestimmt werden. Dadurch konnte gezeigt werden, dass KAP in der CPAK 1 Klasse post-OP vor allem in der Standphase tendenziell eine größere Annäherung an die C-Gruppe zeigen als MAP.

Literatur: [1] Tuecking et al. (2020). Der Orthopäde, 7(49), 584–592; [2] Blakeny et al. (2019). Knee Surgery, Sports traumatology, Arthroscopy, 27, 1410–1417; [3] McNair et al. (2017). The Journal of Arthroplasty, 33 (2), 560–564

Abb. 1

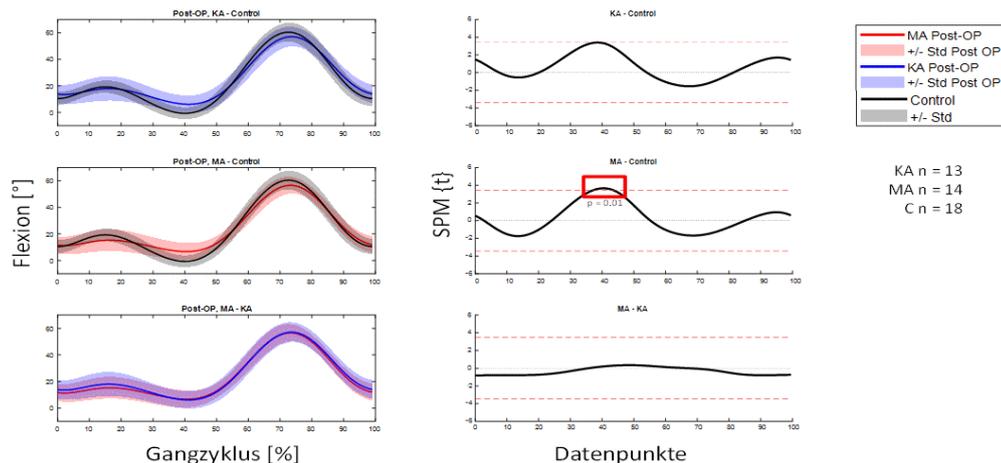


Abbildung 1: links: Mittelwert \pm Standardabweichung Kniegelenksflexion der KAP (blau), MAP (rot) und der C-Gruppe (schwarz) im Vergleich zueinander; rechts: SPM-Vergleich der Gruppen ANOVA mit Post-Hoc Test, $p_{crit}: 0.02$

Abb. 2

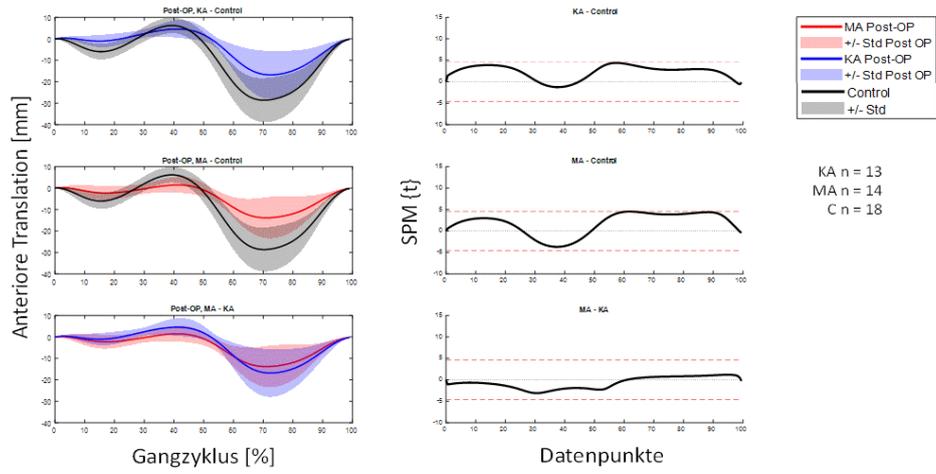


Abbildung 2: **links:** Mittelwert \pm Standardabweichung der anterioren Translation der KAP (blau), MAP (rot) und der C-Gruppe (schwarz) im Vergleich zueinander; **rechts:** SPM-Vergleich der Gruppen ANOVA mit Post-Hoc Test, p_{crit} : 0.02

Session 3 • Klinische Studien und Prothetik I

V15

Spatiotemporal gait deviations due to virtual height exposure in children with cerebral palsy – A case-control pilot study

R. Lohss (Basel/CH), R. Winter (Bern/CH), N. Zentai (Basel/CH), B. Göpfert (Basel/CH), R. Visscher (Basel/CH, Zürich/CH), R. G. H. Brunner (Basel/CH), P. C. Cattin (Basel/CH), C. C. Hasler (Basel/CH), E. Viehweger (Basel/CH)

Introduction_Children with cerebral palsy (CCP) often experience instability during walking, leading to a higher risk of falling [1]. Virtual reality (VR) can be used to elicit instability. Until now, however, it is unknown if VR-induced instability influences overground walking patterns in CCP compared to typically developing children (TDC).

Question_How do CCP differ from TDC in spatiotemporal gait parameters during walking over virtual planks of different heights?

Methods_Included were CCP and TDC aged 7-18y. Main exclusion criteria were orthopedic surgeries in lower extremities (<1y) and botulinum toxin A treatment (<6mths). Subjects wore a VR headset and walked over planks at different heights randomly applied (0m, 3m, 5m). Main parameters of interest (mean±SD) were stride length(m), stride width(m), walking speed(m/s) and double support(s).

Results_5 CCP (11.0±0.5y) and 5 TDC (10.0±1.6y) were included. Compared to TDC, CCP showed shorter and wider strides, slower walking speed and longer double support during all VR-conditions (Fig). With increasing virtual heights, both TDC and CPP decreased their stride length by an average of 0.1m and 0.16m (0m to 5m) and their walking speed by 0.17m/s and 0.2m/s (0m to 5m) resp. Step width remained overall unchanged. Double support remained overall unchanged in TDC but increased in CCP by an average of 0.07s (0m to 5m).

Conclusion_The results reveal that both CCP and TDC adapt their walking patterns with increasing virtual heights, whereas CCP differed from TDC in all parameters during all VR-conditions. This pilot study showed the feasibility of VR to elicit instability and hence spatiotemporal gait deviations in CCP compared to TDC. A more extensive study will follow to investigate if the induced instability leads to adaptations in gait kinematics and kinetics.

Ref_[1] Bruijn(2013).Gait stability in children with Cerebral Palsy.Res Dev Disabil.

Abb. 1

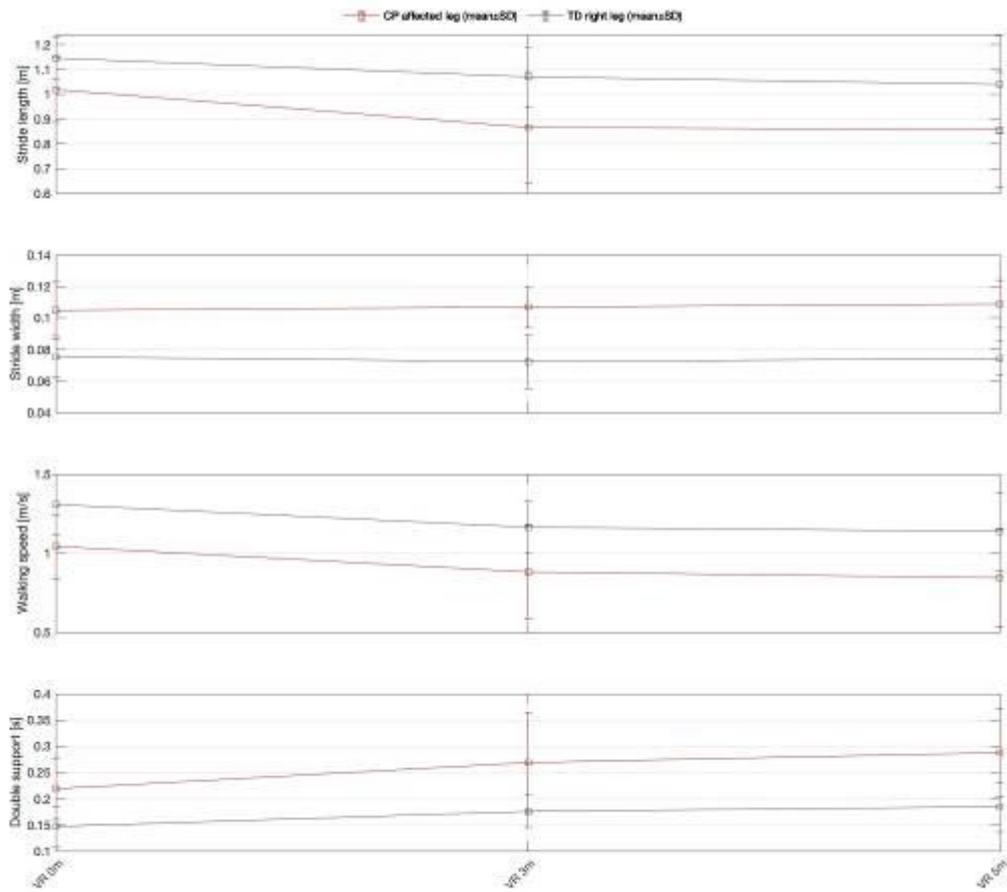


Fig.: Changes in parameters in CCP versus TDC between VR-conditions.

V16

Auswirkungen einer idiopathischen Valgusfehlstellung des Knies auf Gangparameter einschließlich Muskelaktivierung beim Gehen bei Kindern

L. Hertrich (Hannover/DE), K. Byrnes (Aschau/DE), J. Holder (Frankfurt a. M./DE), F. Stief (Frankfurt a. M./DE), F. Layher (Eisenberg/DE), H. Böhm (Aschau/DE), E. Jakobowitz (Hannover/DE)

Fragestellung: Abweichungen in der Gangbiomechanik [1] mit einer veränderten Gelenkbelastung durch eine Valgusfehlstellung des Knies bei Kindern können zu degenerativen Erkrankungen wie laterale Kniearthrose [2] führen. Eine pathologische Muskelaktivierung kann zu Überlastungen und Schmerzen führen. Daher wurden Unterschiede in der Gangkinematik, der Kinetik und den Muskelaktivierungsmustern zwischen asymptomatischen (schmerzfreien) und symptomatischen (schmerzhaften) Kindern mit Valgusdeformität (VD) und typisch entwickelten Kindern (TE) erwartet.

Methoden: 92 Kinder (m:w = 47:45, $12,7 \pm 1,3$ Jahre) mit VD wurden je nach Schmerzempfinden in asymptomatische ($n = 50$) und symptomatische ($n = 42$) Gruppen eingeteilt. Die Kontrollgruppe bestand aus 60 TE-Kinder (m:w = 30:30, $12,4 \pm 2,0$ Jahre). Kinematik und Kinetik wurden mittels 3D-Ganganalyse erfasst. Die EMG-Aktivität von knieübergreifenden Muskeln wurde aufgezeichnet. Mit SPM und ANOVA wurden Unterschiede zwischen den drei Gruppen über den gesamten Gangzyklus bewertet.

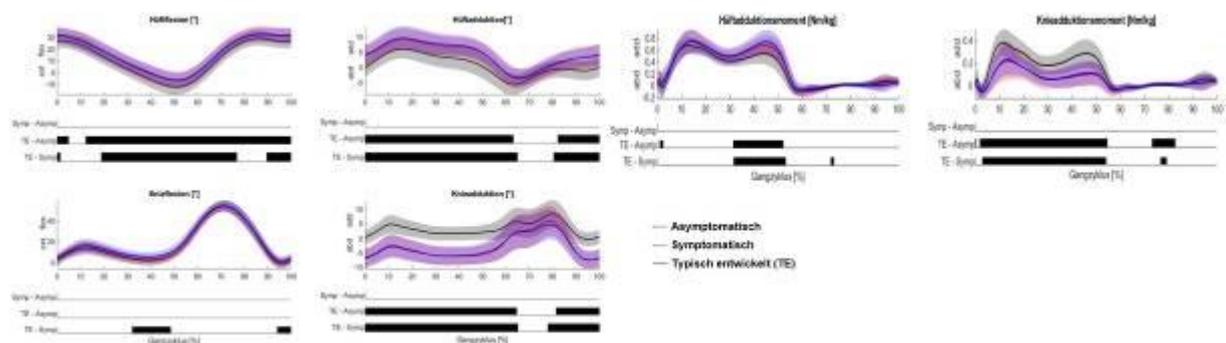
Ergebnisse: Beide VD-Gruppen zeigten eine signifikant erhöhte Hüftflexion und -adduktion, eine verringerte Knieadduktion sowie erhöhte Hüft- und verminderte Knieadduktionsmomente im Vergleich zu TE (Abb. 1). Zwischen den beiden VD-Gruppen wurden keine Unterschiede festgestellt. Weiterhin gab es keine Unterschiede in der Muskelaktivität zwischen den drei Gruppen. Lediglich die lateralen Hamstrings zeigten in der asymptomatischen Gruppe eine erhöhte Aktivität.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse bestätigten unsere Hypothese von biomechanischen Gangabweichungen mit VD. Das veränderte Gangbild scheint unabhängig von der Schmerzsymptomatik zu sein. Einen Unterschied in der EMG-Aktivität wurde nicht festgestellt. Weiterhin untersuchen wir, ob die Gangabweichungen durch Beinachsenkorrekturen wieder verringert werden können.

Literatur

- [1] Farr et al. (2014). *J Orthop Res*, 32(10) 1362-1370;
[2] Brouwer et al. (2007). *Arthritis Rheum*, 56(4), 1204-1211

Abb. 1



V17

Berechnete Muskellängen bei Kindern mit spastischer Cerebralparese – Alltagsrelevante Information aus der 3D-Ganganalyse?

M. Hoese (Vogtareuth/DE), A. Thamm (Vogtareuth/DE), S. Nader (Vogtareuth/DE), S. Berweck (Vogtareuth/DE)

Fragestellung

CP Kinder gehen oft mit gebeugten Knien, was mit Hamstringsverkürzungen attribuiert wird. Berechnungen von Muskellängen im Gang wurden vorgeschlagen, um verlängernde OPs mit zu indizieren [1]. Sind solche Modellierungsdaten alltagsrelevant?

Methoden

69 CP Kinder (8±4 J.) unterzogen sich einer 3DGA und manuellen Untersuchung, u.a. für Kraft und Muskeltonus (mod. Ashworth-Skala). Zur Interpretation des Poplitealwinkel wurden Grenzwerte aus dem CPUP [2] verwendet. Aus der 3DGA berechneten wir die Länge und Geschwindigkeit der Hamstrings [3,4]. 34 Kontrollen dienten als Referenz. Die Pathologie in der 3DGA wurde als kurze Muskellänge und langsame Dehngeschwindigkeit <2 SD der Kontrollen definiert (Abb.1). MQ47 Fragebögen [5] erfassten die Mobilität.

Ergebnisse

Ein- und beidseitige Poplitealwinkel betragen $56\pm 17^\circ$ und $40\pm 16^\circ$. 77% hätten nach CPUP einer Behandlung bedurft, wobei nur 39.6% mit kritisch kurzen und langsamen Muskeln gingen (Abb. 2). Was die Klinik anbelangt, stand nur die Knieflexorkraft ($r = .53-.58$, $p < .01$) und der Muskeltonus ($r = .26-.31$, $P < .05$) in sign. Zusammenhang zur Mobilität. Beim Gehen zeigte die modellierte Hamstrings-Exkursion ($r = .66$, $P < .01$) und die Dehngeschwindigkeit ($r = .51-.52$, $p < .05$) einen stärkeren Zusammenhang mit der Mobilität. Muskelexkursion und klinische Kraft erklärten zusammen 56% der Varianz der MQ47-Werte.

Schlussfolgerungen

Manuelle Skalen zu Verkürzung und Tonus der Hamstrings sind von begrenztem Wert, aber Schwäche und verminderte Muskelauslenkung im Gang sind entscheidender. Die Grenzwerte des Muskelmodells stellen eine alltagsrelevante Entscheidungshilfe dar, die Überkorrekturen ggf. verhindert [6,7].

Referenzen

- [1] McCarthy. J Child Orth. 2020;14:50-7
- [2] Alriksson-Schmidt. Int J Int Care. 2019;19:380
- [3] Arnold. G&P. 2006;23:273-81
- [4] Hawkins&Hull. J Biomech. 1990;23:487-94
- [5] Roorda. ArchPhys MedRehabil 2010;91:1194-209
- [6] Rajagopalet. PLoS One. 2020 ;15:e0233706
- [7] Arnold. G&P. 2006;23:273-81

Abb. 1

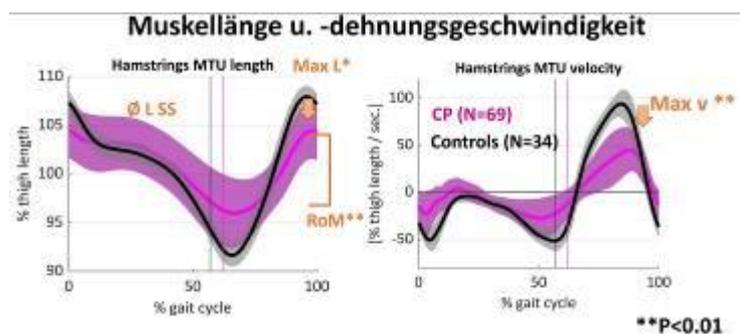
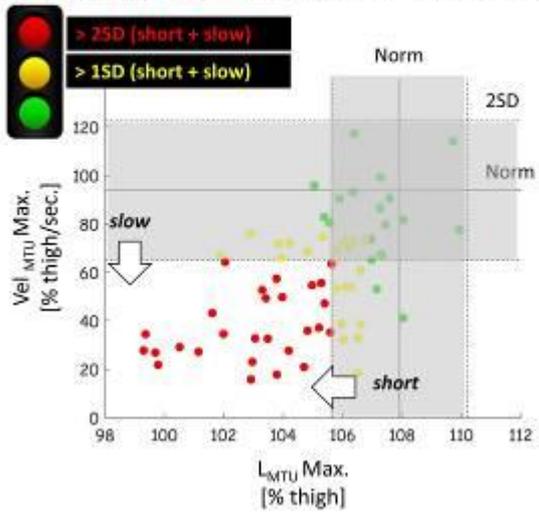


Abb. 2

3DGA Kategorisierung der Hamstrings



V18

Wer profitiert am meisten von Unterschenkelorthesen mit hinteren Blattfedern aus Karbon? Eine Analyse von Kindern mit erworbenen und angeborenen Hirnläsionen

M. Hoesl (Vogtareuth/DE), S. Wöber (Vogtareuth/DE, Freiburg i. Br./DE), A. Thamm (Vogtareuth/DE), S. Nader (Vogtareuth/DE), S. Berweck (Vogtareuth/DE, München/DE)

Fragestellung

Bei Kindern mit Hirnläsionen sind Fußheberdefizite und spastisch-paretische Waden häufig. Orthesen mit hinteren Blattfedern (PLS-AFOs) sollen die Bodenfreiheit unterstützen, limitieren oft aber den Vortrieb [1-2]. Ziel war die Auswirkung von PLS-AFOs zu untersuchen, in der Annahme, dass körperliche Defizite und die Gangbiomechanik vorhersagen, wer am besten darauf anspricht.

Methoden

16 Kinder (9±3 J.) mit Hirnläsionen unterzogen sich einer 3DGA [Barfuß, Schuhe, Schuhe+PLS-AFO]. Die Veränderung mit PLS-AFOs wurde in Relation zum Gang mit Schuhen ausgedrückt. Die Ø Dorsalflexion [SS; SW], min. Knieflexion [SS], Sohlenwinkel [IC], max. PF-Moment [Nm/kg], Power [W/kg] sowie OSG-Quasi-Steifigkeit (Nm/kg/°) [3] wurden bestimmt. Die Teilnehmer wurden klinisch u.a. für mod. Ashworth Scores, pRoM und manuelle Kraft untersucht. Kombinierte Verbesserungen von DF, Sohlenwinkel und Push-off Power klassifizierten optimale Responder [OR].

Ergebnisse

Mit PLS-AFO erhöhte sich die DF [SS, SW] um +3.6° und +9.5° ($P \leq .044$), der Sohlenwinkel um -10.6° und die Knie waren +2.5° gestreckter ($P = .024$). Das Max. PF-Moment nahm +12% zu ($P = .001$), die Push Power -25% ab ($P = .009$). Bei 37.5% der AFOs ging eine bessere Kinematik mit mehr Power einher. In der logistischen Regression (Abb. 2) sagte eine geringere Quasi-Steifigkeit (Abb. 1) barfuß eine optimale Reizantwort voraus. Keine der klinischen Werte lieferte weitere Prädiktoren.

Schlussfolgerungen

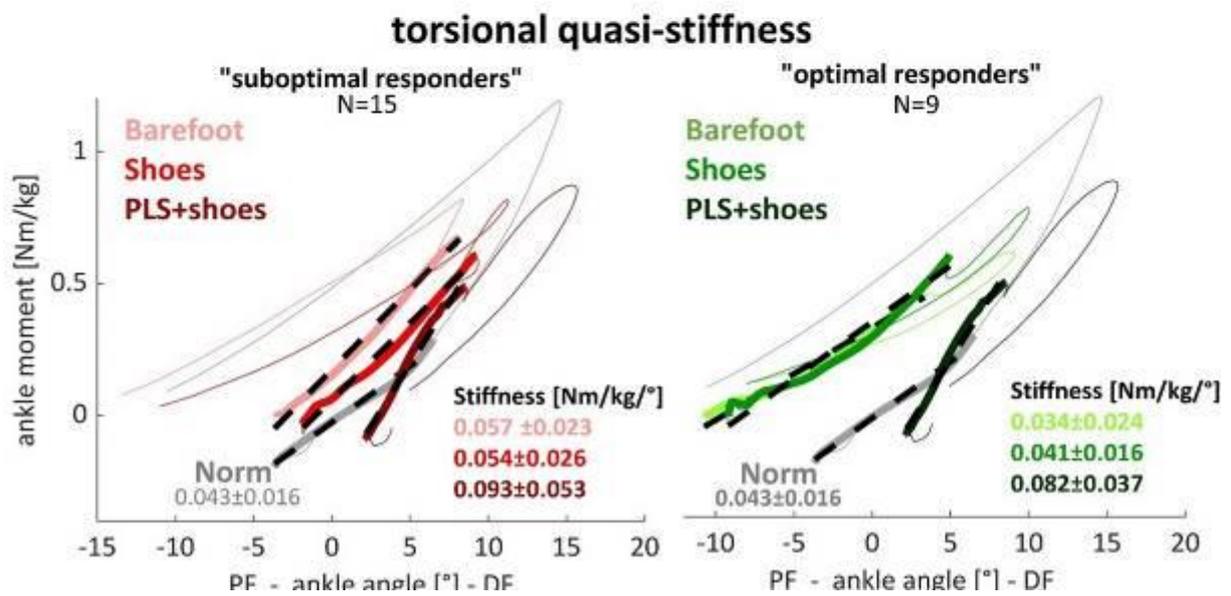
OR konnten nicht aus klin. Routinetests abgeleitet werden, was eine 3DGA nahe legt. Bei PLS-AFOs könnte eine zu hohe intrinsische OSG-Steifigkeit eine angemessene Belastung der Feder verhindern. Die ideale Steifigkeit der AFOs variiert vermutlich [4] und modulare Anpassungen wären vielversprechend [5].

Referenzen

- [1] Buckon. Dev Med. 2001;43:371-8.
- [2] Desloovere. G&P, 2006;24:142-51.
- [3] Crenna. Hum Mov Sci. 2011;30:1185-98.
- [4] Waterval. J Neuroeng Rehabil. 2019 17;16:120.
- [5] Ploeger. J Foot Ankle Res. 2019 7;12:41

Abb. 1

Posterior Leaf Spring Ankle Foot Orthosis [PLS-AFO]



Tab. 1

Prädiktoren für Optimale Responder		Receiver Operating Characteristics	
Parameter aus 3DGA (barfuß)	P-Wert	AUC	Cut-Off
OSG - Quasi Steifigkeit [Nm/kg/°]	0.04*	0.81	<0.045 [Nm/kg/°]
OSG- Peak PF Power [W/kg]	0.05	0.74	<1.63 [W/kg]

V19

Dynamic subtendon analysis during walking in patients following surgically treated achilles tendon rupture: A pilot study

T. Höpfl (Schwarzenbruck/DE), A. Brand (Murnau/DE, Salzburg/AT), M. Frisch (Bayreuth/DE), P. Augat (Murnau/DE, Salzburg/AT)

Background

The Achilles tendon (AT) is comprised of three subtendons originating from the gastrocnemius medialis, lateralis and soleus showing different collagen fibre displacements and inter-tendon sliding during walking¹. Following rupture, impaired gait patterns and altered tendon properties are prevalent while it remains unclear to what extent individual subtendons are affected². This pilot study aims to evaluate individual subtendon stretch-shortening patterns in the context of impaired walking after AT rupture.

Methods

11 patients (43 ± 12 years, BMI: 25.8 ± 2.9 kg/m², 21 ± 18 months post-surgery) and 11 controls (44 ± 12 years, BMI: 25.1 ± 2.5 kg/m²) were investigated using ultrasound and motion capture. Myotendinous junction displacements of individual subtendons were measured during level walking. Dynamic subtendon length and shortening at push-off as well as ankle joint kinematics and kinetics were analysed. Gait parameters and subtendon shortening were compared using t- tests. Statistical parametric mapping was used to display differences throughout the gait cycle.

Results

Patients with AT rupture showed significant ($p < 0.001$) elongations in all subtendons during gait. Maximum shortening rates for all subtendons were reduced in patients, but did not reach significance. Reductions of averaged subtendon shortening rates were highest (32%) for medial gastrocnemius, followed by soleus (18%) and lateral gastrocnemius (6%). A significant ($p < 0.05$) decrease in ankle biomechanics of up to 75% (plantar flexion angle), 19% (dorsal extension moment) and 29% (plantar flexion power) was also detected.

Conclusion

Increased subtendon lengths imply an impaired capability of individual muscles to transfer force via their tendon aspects towards the ankle joint. It might be further suspected that individual subtendons follow different morphomechanical recovery profiles after AT rupture.

References

¹Franz et al. *Gait Posture*, 2015

²Manegold et al. *Foot Ankle Surg*, 2019

V20

Is the plantar flexion-knee extension couple an issue in patients with isolated, increased femoral anteversion?

N. Alexander (St. Gallen/CH), R. G. H. Brunner (Basel/CH), J. Cip (St. Gallen/CH), E. De Pieri (Basel/CH)

Amongst several kinematic and kinetic gait deviations due to increased femoral anteversion in-toeing and increased knee flexion in terminal stance have been reported.^{1,2} A reduced capability for the plantar flexion-knee extension couple was discussed in the literature.² The aim of this study was to investigate the relationship between in-toeing and knee flexion in terminal stance as well as the gastrocnemius contribution to the sagittal knee moment.

Pediatric patients with isolated, CT-confirmed increased femoral anteversion (n=42, mean age = 12.8 years, mean anteversion = 39.4°) underwent 3D gait analysis. Kinematics and joint moments were evaluated with inverse dynamics (AnyBody Technology, Denmark). Subject-specific models, in terms of femoral anteversion,³ were used and gastrocnemius muscle contribution to the sagittal knee moment was calculated.⁴ Statistical parametric mapping regression analyses were used to evaluate the effect of femoral anteversion and the mean foot progression angle in terminal stance (FootProg_{tSt}) on knee flexion as well as FootProg_{tSt} on gastrocnemius muscle contribution to the sagittal knee moment.

Femoral anteversion was correlated with the knee flexion angle (37-52% gait cycle). No correlations between FootProg_{tSt} and the sagittal knee angle as well as the gastrocnemius muscle contribution to the sagittal knee moment were found.

While these are preliminary results with several limitations (e.g. no tibial torsion modelled, simple knee and foot, foot deformities can affect kinematics⁵), the results of the current study suggest that in-toeing is not the reason of an increased knee flexion in terminal stance in patients with increased femoral anteversion.

¹Alexander et al, J Biomech, 86:167-174, 2019.

²Passmore et al, Gait Posture, 63:228-235, 2018.

³De Pieri et al, Front Bioeng Biotechnol, 9:679360, 2021.

⁴De Pieri et al, Front Bioeng Biotechnol, 10, 2022.

⁵Zafiropoulos et al, The Foot 19(1):50-54, 2019.

V21

Der Einfluss der Patella-Distalisierung auf den Kniegelenkwinkel und das Kniegelenkmoment bei Patienten mit Zerebralparese und Kauergang

D. Karabulut (Istanbul/TR), Y. Z. Arslan (Istanbul/TR), M. Götze (Heidelberg/DE), S. I. Wolf (Heidelberg/DE)

Fragestellung: Die Patella-Distalisierung (PD) wird zur Behandlung des kauernenden Gangs bei Patienten mit Zerebralparese (CP) durchgeführt [1]. In dieser Studie wollen wir den Einfluss, die PD im Kontext der Single-Event-Multi-Level-Chirurgie (SEMLC) auf den Kniegelenkwinkel und das Kniegelenkmoment, durch muskuloskelettale Modellierung bestimmen.

Methoden: Dazu wurden Gangdaten von Kindern mit CP und Kauergang retrospektiv analysiert. Patienten wurden eingeschlossen, wenn sie eine SEMLC mit PD (PD-Gruppe, $n=18$) und eine SEMLC ohne PD (NoPD-Gruppe, $n=18$) erhalten hatten. Zur Berechnung der präoperativen und postoperativen Kniegelenkwinkel und -momente wurde ein Muskel-Skelett-Modell verwendet [2].

Ergebnisse: Wir fanden heraus, dass die postoperative Kniegelenkkinematik der PD-Gruppe näher an typisch entwickelten Kindern lag als die NoPD-Gruppe. Das Kniestreckmoment nahm in der PD-Gruppe postoperativ zu, aber es gab keine statistisch signifikante Veränderung in der NoPD-Gruppe. Die PD hat sich als wirksame Operation zur Behandlung des Kauergangs erwiesen. Sie trägt zur Verbesserung des Kniestreckmoments bei und verringert postoperativ das Kniebeugemoment.

Schlussfolgerungen: Die PD verbesserte den Hebelarm zur Kniestreckung, die Kniekinematik und die Kniemomente und war ein wirksames Verfahren zur chirurgischen Behandlung des Kauergangs bei Patienten mit CP.

Referenzen

[1] Hösl M, Böhm H, Seltmann M, Dussa CU, Döderlein L. Relationship between radiographic patella-alta pathology and walking dysfunction in children with bilateral spastic Cerebral Palsy. *Gait Posture*. 2018.

[2] Rajagopal A, Dembia C, DeMers M, Delp D, Hicks J, Delp S. Full body musculoskeletal model for muscle-driven simulation of human gait. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2016.

Session 4 • Implantate/Tribologie/Biomaterialien

V22

Reibungskoeffizienten humaner Knorpelproben steigen mit zunehmender Degeneration

L. de Roy (Ulm/DE), M. Faschingbauer (Ulm/DE), A. Ignatius (Ulm/DE), A. M. Seitz (Ulm/DE)

Motivation: Tribologische Studien liefern kontroverse Ergebnisse zur Fragestellung, ob eine bestehende Gonarthrose mit einer erhöhten Reibung einhergeht. Ziel dieser in vitro Studie war es daher Reibungskoeffizienten degenerierter Knorpelproben unter physiologischen Belastungen des Gangzykluses zu bestimmen.

Methodik: Aus zehn humanen lateralen Tibiaplateaus (IRB 146/21,79±6 Jahre) wurden je vier zylindrische Knorpelproben ($d = 6\text{mm}$) entnommen und nach dem ICRS-Score in mild und schwer degeneriert eingeteilt. Die Proben wurden gegen Glas mit synthetischer Synovia in einem Pin-on-Plate-Prüfstand für 600s getestet. Die dabei aufgebrachten Belastungen wurden aus dem Gangzyklus abgeleitet. (Abb.1). Die Reibungskoeffizienten der Stand- und Schwungphase wurden aus den ersten (μ_0) und letzten (μ_{end}) drei Zyklen berechnet und mittels nicht-parametrischer Statistik ausgewertet ($\alpha=0.05$).

Ergebnisse: Stark degenerierte Proben wiesen im Vergleich zu mild degenerierten signifikant höhere Reibkoeffizienten auf, ausgenommen μ_{end} in der Schwungphase (Abb.2). In der Schwungphase wurden zudem signifikant höhere Reibkoeffizienten ermittelt als in der Standphase. Der Vergleich von μ_0 und μ_{end} zeigte bei den mild degenerierten Proben einen signifikanten Anstieg über die Zeit, bei stark degenerierten eine signifikante Abnahme.

Diskussion: In dieser Studie wurden Reibungskoeffizienten von humanem Knorpelgewebe bestimmt, wobei steigende Degenerationsgrade zu erhöhten Reibkoeffizienten führten. Durch die Applikation von Belastungen der Stand- und Schwungphase, konnte erstmals gezeigt werden, dass trotz Degeneration in der hoch belasteten Standphase niedrigere Reibungskoeffizienten auftreten als in der wenig belasteten Schwungphase.

Abb. 1

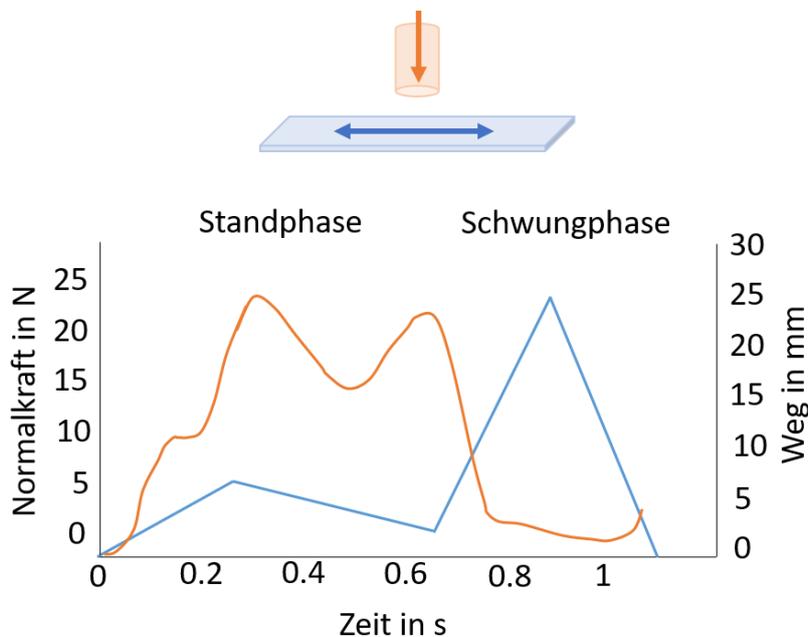


Abb. 1: Aufgebrachte Normalkraft der Stand- und Schwungphase (orange) sowie dazugehöriger Motorweg (blau).

Abb. 2

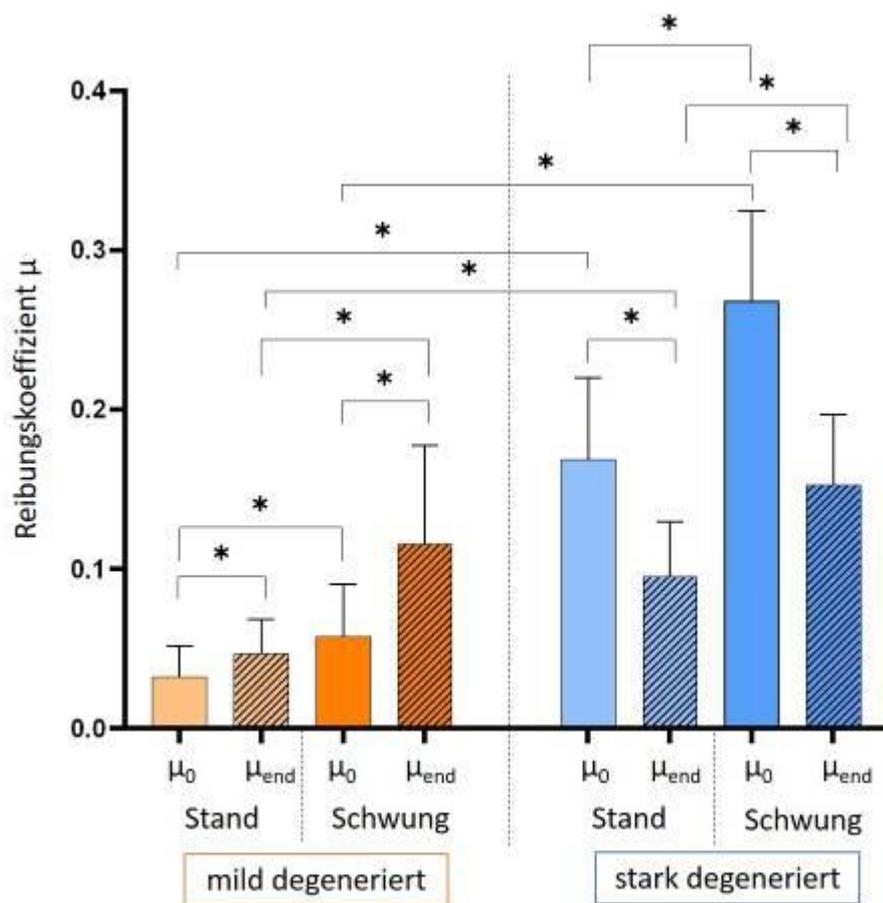


Abb. 2: Ermittelte Reibungskoeffizienten der mild (orange, $n=24$) und stark (blau, $n=16$) degenerierten Proben der ersten drei (μ_0) sowie letzten drei (μ_{end}) Zyklen des 600s dauernden Versuches, $*p < 0.05$, nicht-parametrische Tests

V23

Patientenspezifische Steigerung der Primärstabilität zementfreier Implantate durch intertrabekuläre Knochenpartikel

S. M. Zobel¹ (Hamburg/DE), K. Glismann (Hamburg/DE), F. Neumann (Hamburg/DE), G. Huber (Hamburg/DE), M. M. Morlock (Hamburg/DE)

Einleitung

Hinreichender Presssitz im Knochen ist eine Grundvoraussetzung für die Osseointegration zementfreier Implantate¹. In vitro kann der Haftreibungskoeffizient und somit diese Primärstabilität (PS) erhöht werden indem periprothetische Spongiosa mit autologen Knochenpartikeln verdichtet wird². Ziel dieser Studie war es Partikelgeometrien (quantifiziert durch Größe und Achsverhältnis) zu ermitteln, welche die Verdichtung und den Reibkoeffizienten in Richtung einer besseren PS verändern.

Material und Methoden

Aus humanen Femurköpfen wurden Spongiosaprobe (SP) entnommen (n=36). Die Mikrostruktur der SP wurde mittels mikro-CT bestimmt. Aus 12 SP wurde Knochen-Schlacker (Partikel in Blut und Mark) mit Knochenmühlen gewonnen um damit die SP quasistatisch zu verdichten. Die Partikelgeometrien wurden aus mazerierten Teilmengen der Knochen-Schlacker bestimmt. Der Reibkoeffizient der verdichteten SP wurde gegen eine raue Titanoberfläche gemessen.

Ergebnisse

Die Partikel (mittlere Größe: 505 μm , mittleres Achsverhältnis: 0,51) wiesen intakte Trabekel auf (Abb. 1). Mit zunahme des trabekulären Abstandes der SP zur Partikelgröße (TbSP-D) stieg die erreichte Verdichtung, gleichzeitig sank der Reibkoeffizient ($r=-0,636$; $p=0,001$). Dieser sank zudem mit zunehmendem Achsverhältnis der Partikel ($r=-0,420$; $p=0,041$). Der maximale Reibkoeffizient lag bei einem TbSP-D von 1,3 und einem Achsverhältnis von 0,48.

Diskussion

Der maximale Reibkoeffizient könnte durch eine erhöhte Rollreibung, ausgehend von großen Partikeln mit kleinem Achsverhältnissen, hervorgerufen sein. In der klinischen Anwendung könnte eine Abstimmung der Partikelgröße auf den trabekulären Abstand der patientenindividuellen Mikrostruktur zur Maximierung der PS führen.

Danksagung

Die Unterstützung von S. Heinrich, C. Schaffer und Spierings Orthopaedics wird dankend hervorgehoben.

Referenzen

¹Jasty B et al. (1997) JBJS, 79: 707-714

²Zobel et al. (2021) DGfB: 18-19

Abb. 1: Größe einzelner Partikel.

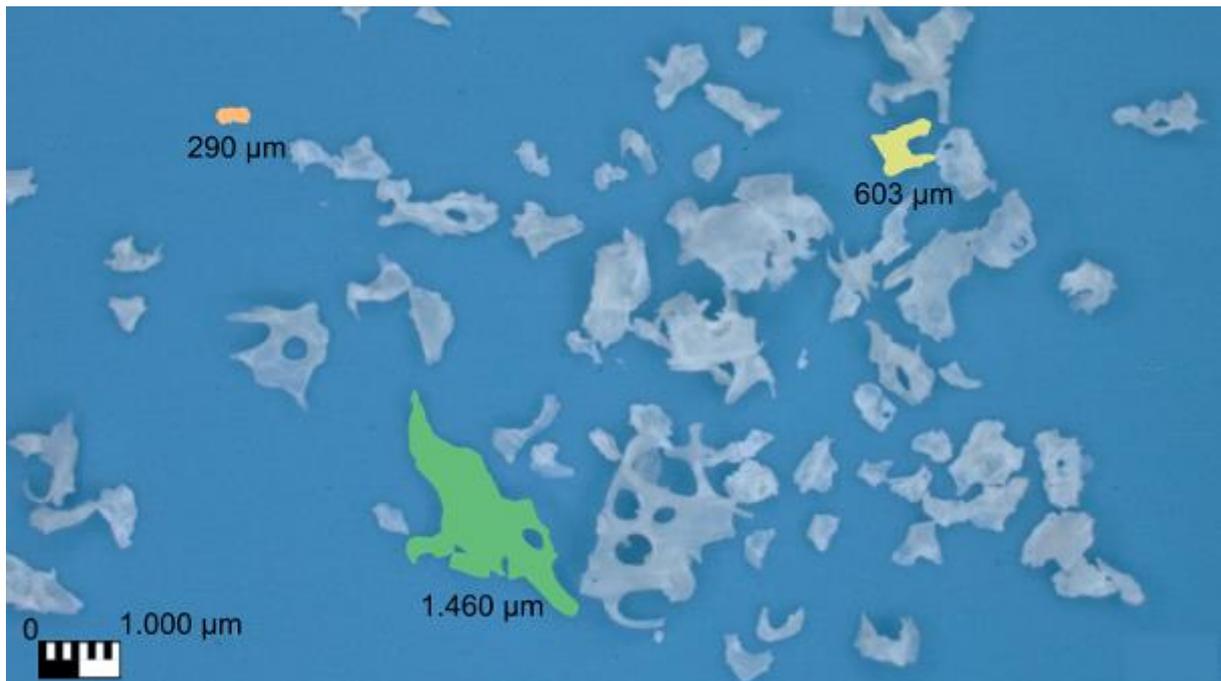


Abb. 1: Größe einzelner Partikel.

V24

Biomechanischer Leistungsvergleich einer zusätzlich gesicherten Ankertenodese versus Standard-Ankertenodese der LBS

S. Schleifenbaum (Leipzig/DE), L. Raschke (Leipzig/DE), B. Fischer (Leipzig/DE), P. Hepp (Leipzig/DE), Leipzig/DE), J. D. Theopold (Leipzig/DE)

Einleitung

Rupturen der langen Bizepssehne (LBS) gehen häufig mit Schmerzen in der Schulter einher. Neben der möglichen konservativen Therapie stellen die Tenotomie und Tenodese der LBS gute Behandlungsmöglichkeiten in Bezug auf die klinischen Resultate dar. Der Swivelock Faden-Anker wird als adäquate Methode zur Behandlung einer Langen Biceps Tenodese in der Literatur beschrieben. Das Ziel dieser Arbeit ist die biomechanische Testung der Standard-Ankertechnik (knotenfrei) im Vergleich zur extra geknoteten Ankerfixation am Humerus.

M&M

Für die Studie wurden zwanzig tiefe Schweineflexorensehnen präpariert. Alle Sehnen wurden mit dem Krakow-Stich fixiert an einen Anker fixiert. Der Anker wurde in einen Sawbone Block mit einer Größe von 40 x 40 mm geschraubt. Es wurden zwei Gruppen gebildet. Gruppe A wurde direkt getestet und in Gruppe B wurde die Naht mit zusätzlichen Knoten gesichert. Bei den Zugversuchen wurde der Sawbone-Block mit dem Anker senkrecht zur Auszugsrichtung in der selbstentwickelten Halterung fixiert. Die Belastung des Konstrukts erfolgte zwischen 50 und 150 N bei 50 sinusförmigen Zyklen mit 1 Hz und anschließender Versagensprüfung mit 20 mm/min.

Ergebnisse

Die beiden Gruppen zeigen keinen signifikanten ($p=0,529$) Unterschied. Gruppe A hat eine mittlere Versagenslast von $158,81 \text{ N} \pm 34,48 \text{ N}$. Gruppe B war etwas höher mit einer mittleren Versagenslast von $170,42 \text{ N} \pm 27,89 \text{ N}$. In keiner Gruppe riss die Naht, so dass eine dauerhafte Verbindung mit der Sehne gewährleistet war. Gruppe A zeigte zwei Ankerauszüge aus dem Sawbone-Block, während in Gruppe B nur ein Ankerauszug auftrat

Zusammenfassung

Ziel war es, durch eine additive Fixierung am Faden eine bessere Sicherung des Ankers im Knochentunnel zu erhalten und somit ein Herausgleiten der Naht aus dem Knochentunnel zu verhindern. Obwohl Gruppe B eine etwas höhere mittlere Versagenslast aufweist und nur ein Ankerauszug auftrat, zeigen die Ergebnisse keinen signifikanten Unterschied.

V25

Effect of residual stress state on corrosion behaviour of head-neck taper connections in total hip arthroplasty

T. Bormann (Heidelberg/DE), P. T. Mai (Karlsruhe/DE), J. Gibmeier (Karlsruhe/DE), J. P. Kretzer (Heidelberg/DE)

Modular taper connections are well established in total hip arthroplasty as they allow for intraoperative flexibility. Corrosion of taper connections, however, remains of concern, as particles and ions generated by corrosive processes can cause clinical problems like adverse reaction to metallic debris. Mechanical surface treatments that introduce compressive residual stresses (RS) in metallic materials can lead to a better performance in terms of fretting and fatigue and may also lower the susceptibility to corrosion. The study investigates the impact of residual stresses (RS) on the corrosion behaviour of taper connections comprising a Ti6Al4V neck taper and a CoCrMo head taper. Two different grooved neck taper surface profiles were created by classical machining (CM) and by a newly developed furrowing (FU) process. The FU process induced higher and deeper reaching compressive RS than the CM process. To introduce differing RS, CM and FU neck taper samples were subjected to short-term heat treatments, which led to tensile RS as well as to reduced compressive RS at the taper surfaces (see table). The six resulting groups were subjected to corrosion testing (group size n=3) under dynamic loading for 5 million load cycles. After completion of testing, material loss at head tapers was gravimetrically determined and taper surfaces were investigated by light microscopy. The material loss upon corrosion testing was generally smaller in the FU groups than in the CM groups (FU: $4,5 \pm 0,75$ mg; CM: $5,2 \pm 0,73$; $p = 0,045$). For the CM groups, decreased material loss in case of compressive RS was found (see table). At the neck taper surfaces with tensile RS cracks were found at all samples while tapers with compressive RS did not exhibit cracks at the surface. Mechanical surface treatments introducing compressive RS can help to increase the corrosion resistance of head-neck taper connections. Care should be taken during manufacturing to not induce tensile RS at taper surfaces

Tab. 1

Test group	Neck taper processing	Residual stress (RS) state	Depth range of RS	Material loss at head taper (mean (SD))
1	Furrowing (FU)	Compressive	500 μ m	3,97 mg (0,49 mg)
2	Furrowing (FU)	Tensile	> 600 μ m	4,8 mg (0,74 mg)
3	Furrowing (FU)	Reduced compressive	200 μ m	4,89 mg (0,82 mg)
4	Machining (CM)	Compressive	100 μ m	4,48 mg (0,41 mg)
5	Machining (CM)	Tensile	> 600 μ m	5,62 mg (0,47 mg)
6	Machining (CM)	Reduced compressive	50 μ m	5,75 mg (0,36 mg)

V26

Rheologisches Verhalten verschiedener Kälberseren vor, während und nach der tribologischen Testung

M. Uhler (Heidelberg/DE), M. Schonhoff (Heidelberg/DE), T. A. Nees (Heidelberg/DE), T. Wonerow (Hamburg/DE), J. Nuppnau (Hamburg/DE), J. P. Kretzer (Heidelberg/DE), S. Schröder (Heidelberg/DE)

In den Normen für Verschleißprüfungen wird Kälberserum als in-vitro-Testmedium angegeben. Diese enthalten keine genauen Angaben zu den Hauptbestandteilen und den rheologischen Eigenschaften des Mediums. Ziel dieser Studie ist es, die rheologischen Eigenschaften von zwei möglichen Testseren zu charakterisieren, um Unterschiede vor und während der tribologischen Simulation zu erkennen.

Als Testseren wurden Newborn-Calf-Serum (NCS) und Bovine-Calf-Serum (BCS) gewählt. Ein tribologischer Test wurde mit einem Knie-Simulator durchgeführt, wobei der Test in 5 Intervalle unterteilt wurde. Zwischen den Intervallen wurde das getestete Serum gewechselt und das rheologische Verhalten der entnommenen Seren bestimmt. Die dynamische Viskosität wurde als Funktion der Scherrate in einem Bereich von 10-1000 1/s gemessen.

Der direkte Vergleich der dynamischen Viskosität der beiden Testseren vor der Prüfung zeigte einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der rheologischen Eigenschaften ($p=0,041$). Beide Seren zeigten ein scherverdünnendes Verhalten, das bei hohen Schergeschwindigkeiten in ein newtonsches Verhalten übergeht. Ab 0,1 Mio. Zyklen gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Seren (Abb. 1: Direktvergleich der dynamischen Viskosität). Die dynamische Viskosität bei verschiedenen Prüfintervallen zeigte sowohl für BCS als auch für NCS deutliche Unterschiede (Abb. 2: Dynamische Viskosität bei definierten Testintervallen).

Beide Testseren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer rheologischen Eigenschaften vor und zu Beginn der Prüfung, was zu abweichenden Ergebnissen bei der tribologischen Prüfungen führen könnte. Zudem verändern sich beide Seren über die Prüfdauer erheblich. Ab einer Testdauer von 0,1 Mio. Zyklen haben sich beide Seren so verändert, dass sie sich in ihren rheologischen Eigenschaften nicht mehr voneinander unterscheiden. Ob und zu welchem Zeitpunkt die Testseren die in-vivo-Situation widerspiegeln, muss in weiteren Studien untersucht werden.

Abb. 1

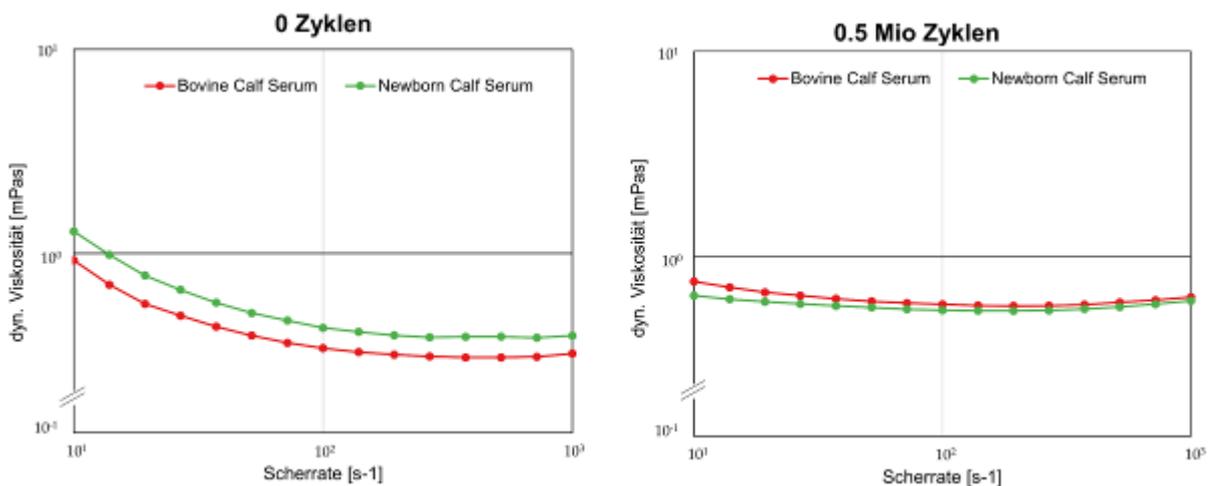
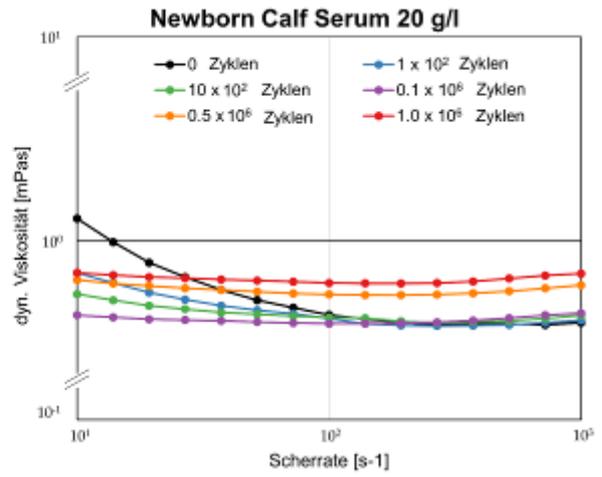
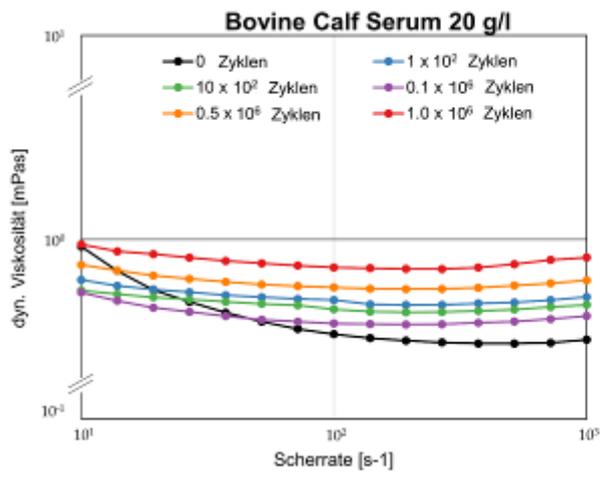


Abb. 2



V27

Die kinematische Ausrichtung einer Knie-Totalendoprothese: Eine in-vitro Verschleißstudie

S. Schröder (Heidelberg/DE), M. Schonhoff (Heidelberg/DE), M. Uhler (Heidelberg/DE), S. Braun (Heidelberg/DE), S. Jäger (Heidelberg/DE), J. P. Kretzer (Heidelberg/DE)

Die kinematische Ausrichtung (KA) einer Knieendoprothese stellt eine Alternative zur mechanischen Ausrichtung (MA) dar, mit dem Ziel die präarthrotische Kniestellung wiederherzustellen. Trotz guter mittelfristiger Ergebnisse könnte bei der KA aufgrund der Schrägstellung der Komponenten langfristig ein erhöhter Verschleiß entstehen, der zu einer Implantatlockerung führen kann. Im Rahmen einer Knieverschleißstudie soll daher die MA, KA und "falsche Prothesenausrichtung (FA)" simuliert werden.

Ein kraftgeregelter AMTI Knieverschleißsimulator wurde für den Vergleich der drei Gruppen verwendet. Für die MA stimmte die Gelenkachse mit der Flex/Ex-Achse des Simulators überein und die Achse für die I/A-Rotation sowie die Kraftachse befanden sich um 90° versetzt dazu. Für die FA wurde eine Neigung der Gelenkachse um 4° vorgenommen, ohne die Simulatorachsen zu neigen. Für die KA wurden eine Neigung der Gelenkachse und eine mechanische Neigung der Simulatorachsen bei unveränderter Kraftachse durchgeführt (Abb. 1: Prothesenausrichtungen und das Konzept der kinematischen Ausrichtung).

Die Verschleißsimulation wurde für zwei verschiedene Implantatsysteme (Sigma PFC und Attune) über jeweils drei Millionen Zyklen nach ISO 14243-1 durchgeführt und der gravimetrische Verschleiß und die Verschleißspuren bestimmt.

Für beide Implantatsysteme zeigte die FA das geringste Verschleißverhalten ($p < 0.002$) und die geringsten Verschleißspuren ($p = 0.001$), wohingegen kein Unterschied zwischen der MA und der KA von 4° hinsichtlich der Verschleißrate und Verschleißspuren ($p > 0.99$) gefunden wurde (Abb. 2: Verschleißraten der drei Ausrichtungen beider Implantattypen).

Die MA und die KA von 4° zeigten ein ähnliches Verschleißverhalten. Die geringe Verschleißfläche könnte bei der FA auf einen geringen Kontakt zurückzuführen sein. Dies könnte zu höheren Drücken und somit langfristig zu einer Delamination des PE von fehlausgerichteten Implantaten führen.

Abb. 1

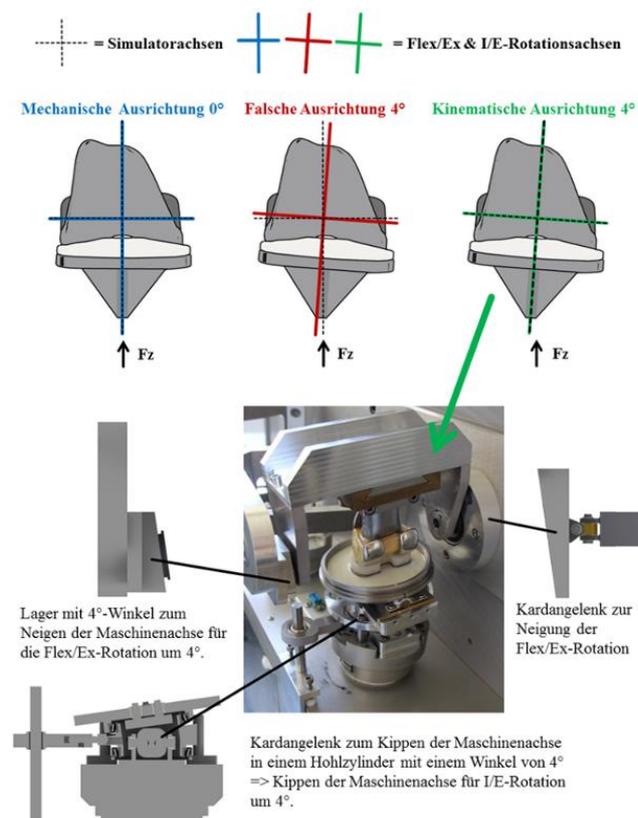
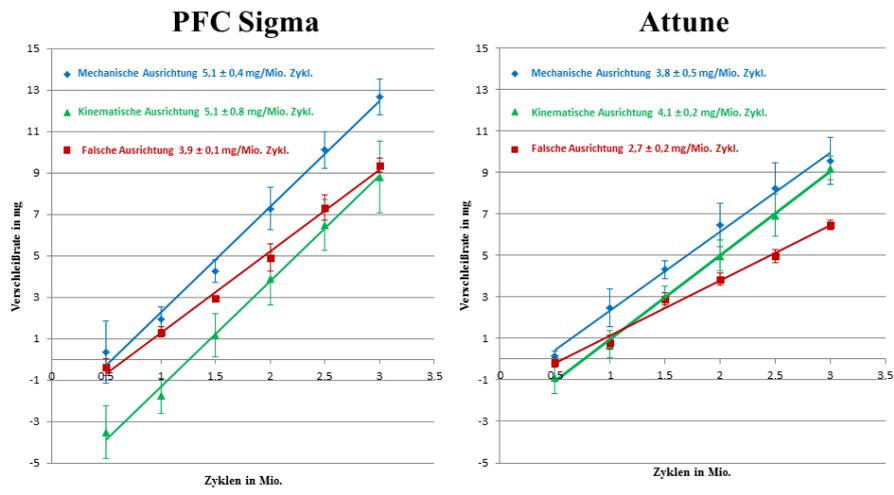


Abb. 2



V28

Effects of tension band implants on the mechanical loading of the femoral growth plate during guided growth in adolescents

L. Hucke (Cádiz/DE, Frankfurt a. M./DE), J. Holder (Frankfurt a. M./DE), S. van Drongelen (Frankfurt a. M./DE), A. J. Gámez (Cádiz/DE), F. Stief (Frankfurt a. M./DE), A. Huß (Frankfurt a. M./DE), A. Wittek (Frankfurt a. M./DE)

Introduction: Malalignment of the lower limb leads to permanent increased loading of one compartment in the knee joint, one of the most common causes of knee osteoarthritis [1]. A preventive therapy for adolescents is correction of the deformity by growth control. Here, the growth of the growth plate is locked on one side by a tension band implant.

Methods: For the investigation of the mechanical situation, a finite element (FE) model was created for three adolescents with valgus malalignment. Characteristic geometric parameters of the growth plate and femur were taken from 2D X-ray. The knee joint contact forces at characteristic time points of the gait cycle were used as boundary conditions. The knee joint contact forces were determined through Open-Sim based on instrumented gait analyses [2]. For each point of time and knee joint angle, four FE models were built: before treatment, after implantation, at the end of treatment when the implant itself is under stress [3] and after explantation.

Results: Results show an inhomogeneous stress distribution in the growth plate. Increased compressive stresses were observed on the lateral side before implantation, due to valgus malalignment. The implant initially reduces compressive stresses on the medial (implant) side, but at the end of the treatment higher compressive stresses occurred medially and tensile stresses laterally. The shear stresses were higher and concentrated on the implant side. Literature shows that growth in the growth plate is inhibited by static compressive stresses and stimulated by tensile or shear stresses, both effects that occur due to implantation.

Conclusions: The results will allow a better understanding of implant induced local changes in the mechanical loading in the growth plate and the resulting growth inhibition over the gait cycle.

References

[1] Andriacchi (2006); Curr Opin Rheumatol; 18(5)

[2] Holder (2020); Gait Posture; 78

[3] Schneider (2018); J Orthop Res; 36(5)

Abb. 1

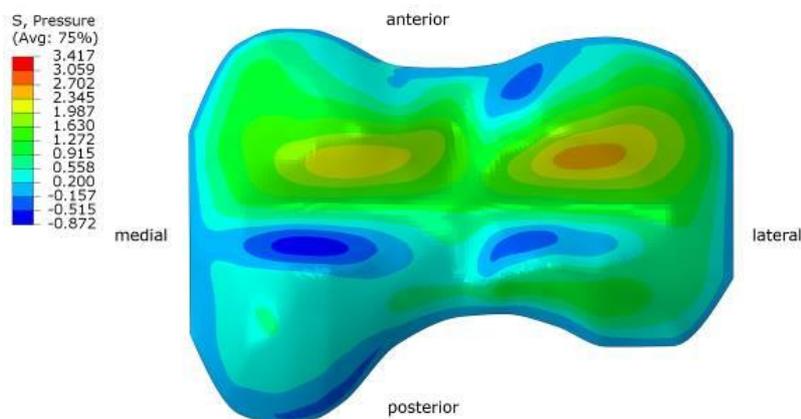


Fig. 1: Pressure [MPa] in right distal femoral growth plate at mid stance in patient with valgus malalignment before treatment; view from proximal

Abb. 2

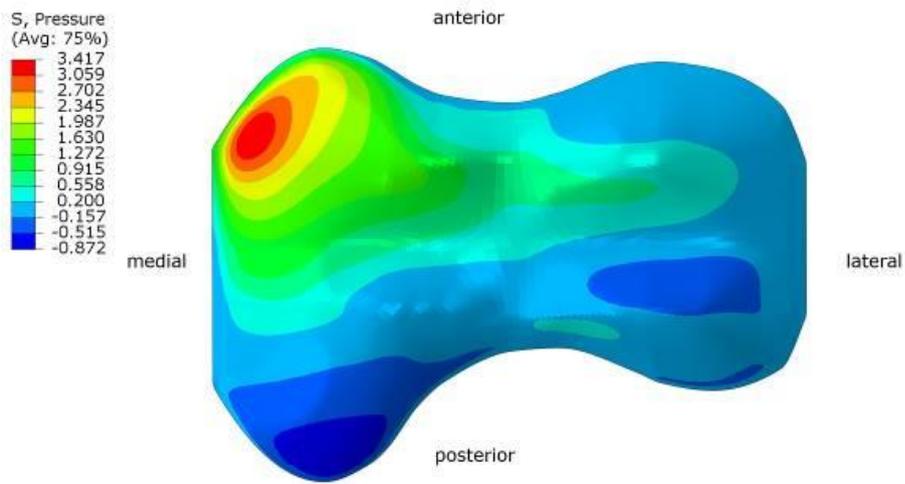


Fig. 2: Pressure [MPa] in right distal femoral growth plate at mid stance in patient with corrected valgus malalignment at the end of treatment, before explantation; view from proximal

Session 5 • Gewebebiomechanik

V29

Bestimmung des Muskelkraft-Längen-Potentials unter Berücksichtigung der individuellen Aktivierungsabhängigkeit der optimalen Länge

S. Böhm (Berlin/DE), A. Schroll (Berlin/DE), F. Mersmann (Berlin/DE), A. Arampatzis (Berlin/DE)

Fragestellung

Die Verschiebung der optimalen Muskellänge (L_0) mit einer Zunahme bei submaximalen Aktivierungen (Rack & Westbury, 1969, *J Physiol*, 204, 443-60) beeinflusst das Muskelkraftpotential während Bewegungen mit variablen Aktivierungsmustern. Ziel war es die Aktivierungsabhängigkeit der L_0 des M. soleus *in vivo* zu untersuchen und dessen Effekt bei der Bestimmung des Kraft-Längen-Potentials zu berücksichtigen.

Methoden

Fünfzehn Probanden*innen führten isometrische Plantarflexionen bei 100%, 60% und 30% willkürlicher Aktivierung (Elektromyographie-basiert) in zehn Fußgelenkwinkeln auf einem Dynamometer aus. Anhand der Achillessehnenkräfte (gemessenes Gelenkmoment/individueller Hebelarm) und Ultraschall-bestimmten Faserlängen des Soleus wurde dessen Kraft-Längen-Relation für die drei Aktivierungen bestimmt und L_0 abgeleitet. Der Effekt der Aktivierungsabhängigkeit der L_0 auf das Kraft-Längen-Potential wurde dann anhand einer Funktion individuell modelliert.

Ergebnisse

Die ANOVA zeigte einen Haupteffekt der Aktivierung auf L_0 ($p < 0,001$). Die Reduktion der Aktivierung von 100% auf 60% resultierte in einer Zunahme der L_0 um $6,5 \pm 6,0\%$ ($p < 0,001$) bzw. von 60% auf 30% um $2,4 \pm 2,7\%$ ($p = 0,014$, Abb. 1). Die Approximation der Aktivierungsabhängigkeit der L_0 zeigte eine gute Genauigkeit (Abb. 2).

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse geben Evidenz für eine moderate aber individuell variable Aktivierungsabhängigkeit der L_0 des M. soleus *in vivo*. Anhand des beschriebenen Vorgehens sowie der messbaren Variablen Faserlänge und Aktivierung kann die Aktivierungsabhängigkeit der L_0 zukünftig für das Kraft-Längen-Potential während Bewegungen individuell berücksichtigt werden.

Abb. 1

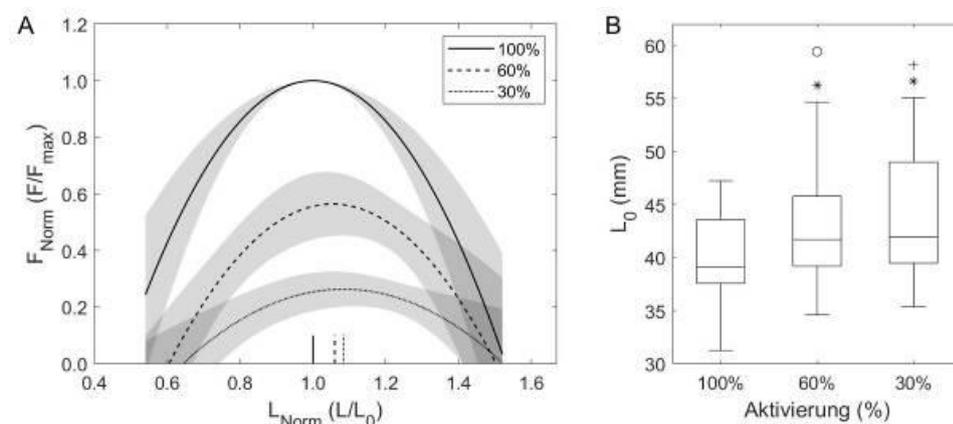


Abb. 1 Experimentell-bestimmte Kraft-Längen-Relationen (MW \pm SD) des M. soleus *in vivo* (A) mit Zunahme der optimalen Muskellänge (L_0) bei 60% und 30% der Aktivierung (A&B, ° Haupteffekt, Unterschied zu * 100% bzw. + 60%, $p < 0,05$).

Abb. 2

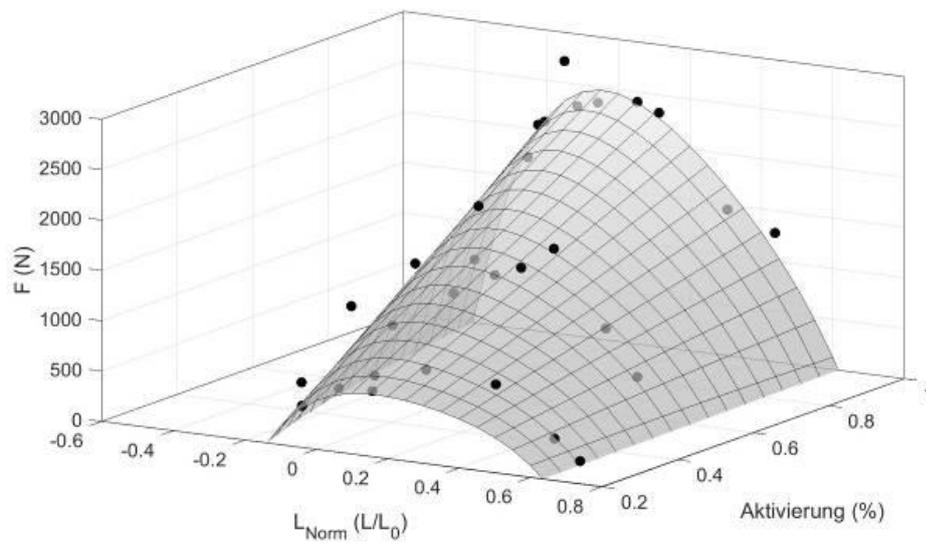


Abb. 2 Funktion zur individuellen Abschätzung der Aktivierungsabhängigkeit der L_0 .

V30

Protektion des VKB Transplantates bei Innenrotationsbelastungen durch eine anterolaterale Lemaire Tenodese

M. Sigloch (Innsbruck/AT), R. Mayr (Innsbruck/AT), C. Coppola (Innsbruck/AT), R. Hörmann (Innsbruck/AT), A. Ilchev (Innsbruck/AT), W. Schmölz (Innsbruck/AT)

Fragestellung: Eine vermeintliche Protektion der vorderen Kreuzbandrekonstruktion (VKBR) durch eine anterolaterale Tenodese (ALT) wurde bisher unzureichend untersucht. Ziel der Studie war die direkte Messung der Kräfte in VKBR und ALT. Es sollte untersucht werden, ob eine zusätzliche ALT die auftretenden Kräfte im VKBR Transplantat bei externen Lasten reduziert.

Methoden: Sechs humane Kniepräparate wurden in 0°, 30°, 60° und 90° Flexion in folgenden Zuständen mit Hilfe eines Simulators untersucht: 1) intakt; 2) mit durchtrenntem vorderen Kreuzband; 3) mit zusätzlicher anterolateraler Insuffizienz; 4) mit isolierter VKBR; 5) mit kombinierter VKBR+ALT. VKBR und ALT Transplantatkräfte wurden unter externen statischen Lasten analysiert: a) unbelastet; b) unter anteriorer Zugkraft mit 98 N; c) unter einem tibialen Innenrotationsmoment von 5 Nm; d) unter kombiniertem tibialen Innenrotationsmoment (5 Nm) und anteriorer Zugkraft (98 N). Zur Validierung der Ergebnisse wurde zusätzlich die tibiofemorale Relativbewegung untersucht.

Ergebnisse: Bei Einleitung eines tibialen Innenrotationsmoments wurden die VKBR Transplantatkräfte durch eine zusätzliche ALT im Mittel um 47% reduziert ($P=0,028$). Die ALT nahm dabei Kräfte von bis zu 112 N auf. Unter anteriorem Zug war die Wirkung der zusätzlichen ALT auf die VKBR Transplantatkräfte vernachlässigbar. Unter tibialer Innenrotation bei anterolateraler Insuffizienz stellte erst die kombinierte VKBR+ALT den nativen Zustand wieder her. In 30° Flexion zeigte sich eine unphysiologische Reduktion der tibialen Innenrotation bei kombinierter VKBR+ALT ($P=0,014$).

Schlussfolgerungen:

- Das VKBR Transplantat kann bei tibialen Innenrotationsbelastungen durch eine ALT entlastet werden.
- Dadurch könnte das Risiko einer Ruptur des VKBR Transplantates bei pivotierenden Belastungen gesenkt werden.
- Persistente Rotationsinstabilitäten nach isolierter VKBR in anterolateral insuffizienten Kniegelenken können durch eine zusätzliche ALT reduziert werden.

V31

Einfluss des Geschlechts auf die Beanspruchung und Mikromorphologie der Sehne bei jugendlichen Athlet:innen – eine Längsschnittstudie

T. Domroes (Berlin/DE), K. Weidlich (Berlin/DE), A. Arampatzis (Berlin/DE), F. Mersmann (Berlin/DE)

Fragestellung:

Dysbalancen aus Muskelkraft und Sehnensteifigkeit können die Beanspruchung von Sehnen erhöhen und deren Mikromorphologie beeinträchtigen, jedoch ist der Einfluss des Geschlechts bislang unklar. Die vorliegende Längsschnittstudie untersucht demnach Muskel-Sehnen Dysbalancen und die Mikromorphologie der Patellarsehne bei männlichen und weiblichen jugendlichen Handballathlet:innen.

Methoden:

An vier Zeitpunkten einer Saison wurden bei 28 Athlet:innen (15 w) im Alter von 13-17 Jahren die Kraft der Knieextensoren und die mechanischen Eigenschaften der Patellarsehne mittels Dynamometrie und Ultraschall bestimmt. Die Spitzenraumfrequenz (PSF) von Ultraschallaufnahmen der proximalen Sehne diente zur Abschätzung der mikromorphologischen Integrität. Ein gemischt lineares Modell wurde zur Analyse von zeit- und gruppenabhängigen Entwicklungen genutzt, die Residuen des Modells dienten als Maß für Fluktuationen der untersuchten Parameter.

Ergebnisse:

Jungen zeigten eine signifikant höhere Muskelkraft und Sehnensteifigkeit ($p < 0,05$), jedoch keine Unterschiede in der Dehnung und damit der Beanspruchung der Sehne bei maximaler Muskelanspannung oder der PSF. Zeit- und Interaktionseffekte lagen hier nicht vor. Bei der Muskelkraft zeigten sich größere Fluktuationen über die Zeit bei den Jungen ($p < 0,001$), jedoch nicht bei den Eigenschaften der Sehne. Der Anteil der Athlet:innen mit einer erhöhten Sehnendehnung ($\geq 9\%$) betrug im Mittel 42% (m) und 38% (w).

Schlussfolgerungen:

Die durchschnittliche Entwicklung der Beanspruchung und Mikromorphologie der Patellarsehne scheint bei männlichen und weiblichen jugendlichen Athlet:innen ähnlich zu sein. Dabei geht die höhere Muskelkraft bei Jungen mit einer höheren Sehnensteifigkeit einher. Individuelle muskulotendinöse Dysbalancen, hier durch erhöhte Sehnendehnungen ($\geq 9\%$) identifiziert, scheinen geschlechtsunabhängig häufig aufzutreten und zeigen die Notwendigkeit eines spezifischen Sehnentrainings.

V32

Ermittlung des Dehnungsverhaltens axial belasteter Kollateralbänder des Kniegelenks – Ein Vergleich von digitaler Bildkorrelation und Dehnungsmessstreifen

M. Kistler (München/DE), G. Prusa (München/DE), L. Bauer (München/DE), I. Santos (München/DE), C. Thorwächter (München/DE), M. Woiczinski (München/DE)

Im Allgemeinen können Dehnungen unter anderem mittels resistiven Dehnungsmessstreifen (DMS) oder optischen Sensoren auf Basis der digitalen Bildkorrelation (3D-DIC) gemessen werden. Obwohl diese Sensorsysteme in anderen technischen Bereichen bereits etabliert sind, werden diese in der medizinischen Forschung aufgrund komplexer humaner Materialeigenschaften sowie optisch schwer zugänglichen Bereichen nur begrenzt verwendet. Ziel dieser Studie war die Ermittlung des Dehnungsverhaltens axial belasteter Kollateralbänder des Kniegelenks mit einem optischen und einem resistiven Messsystem.

Dafür wurden 18 mediale (MCL) und laterale (LCL) Kollateralbänder von humanen Kniegelenken zu Knochen-Band-Knochen-Einheiten präpariert. Anschließend wurden diese in zwei Teilversuchen weggesteuert mit 20 mm/min bis zu einer Dehnung von zwei Millimeter zyklisch belastet (15 Zyklen). Zur optischen Ermittlung der Dehnung wurde auf die Präparate im ersten Versuchsteil ein stochastisches Sprühmuster aufgetragen. Im zweiten Teil wurde zusätzlich ein DMS mittels Cyanacrylat-Klebstoff (Sekundenkleber) direkt auf dem Band befestigt, um Einflüsse auf das Bandverhalten aufzudecken sowie die Dehnung mittels resistiven Messsystem zu bestimmen.

Die Ergebnisse der Dehnungsmessung mit dem 3D-DIC-System unterschieden sich nicht signifikant von der Referenzdehnung der Materialprüfmaschine. Sowohl der Vergleich zwischen 3D-DIC und DMS als auch zwischen Referenz und DMS wiesen signifikante Unterschiede auf. Dies deutet darauf hin, dass die Verwendung eines optischen Systems auf der Grundlage von DIC eine wirksame Methode zur Messung der oberflächlichen Dehnung menschlicher Bänder ist. Im Gegensatz dazu liefern direkt angebrachte DMS innerhalb eines Versuchsaufbaus nur qualitativ vergleichbare Ergebnisse und können verwendet werden, um das Dehnungsverhalten von optisch unzugänglichen Bereichen einschätzen zu können.

V33

Hohe Dehnungen der Patellarsehne als Risikofaktor für Tendinopathie bei jugendlichen Athleten – Eine prospektive Längsschnittstudie

F. Mersmann (Berlin/DE), T. Domroes (Berlin/DE), M. S. Tsai (Berlin/DE), N. Pentidis (Berlin/DE), A. Schroll (Berlin/DE), S. Bohm (Berlin/DE), A. Arampatzis (Berlin/DE)

Einleitung

Bei jugendlichen Athlet:innen aus Risikogruppen für Patellartendinopathie können vergleichsweise hohe Dehnungen als Maß der mechanischen Beanspruchung der Sehne beobachtet werden, jedoch ist ein direkter Zusammenhang mit der Pathogenese nicht klar belegt. In der vorliegenden prospektiven Längsschnittstudie wurde demnach die Hypothese untersucht, dass sich bei betroffenen Athlet:innen im Vorfeld der Symptomatik eine erhöhte Beanspruchung der Sehne zeigt.

Methoden

Bei 44 jugendlichen Athlet:innen (12 bis 17 J.) wurden die mechanischen Eigenschaften der Patellarsehne durch eine Kombination von Ultraschallsonografie und inverser Dynamik an vier Messzeitpunkten in der Saison untersucht. Vierzehn Athlet:innen entwickelten klinisch relevante Beschwerden (SYM), während 23 vollständig asymptomatisch blieben (ASYM). Die Daten von SYM zum letzten Messzeitpunkt vor Symptombeginn wurde mit einem zufällig gewählten Messzeitpunkt von ASYM mittels Bayes'scher Modellierung verglichen.

Ergebnisse

Mit hoher Wahrscheinlichkeit liegt bei SYM im Vergleich zu ASYM eine erhöhte Dehnung der Sehne bei maximaler Muskelanspannung vor (mittlere Differenz: 1,17 %; 95 % Glaubwürdigkeitsintervall: 0,08 %, 2,26 %). Deutliche Unterschiede in der auf die Sehne wirkenden Kraft (i.e. Sehnenkraft) oder der Steifigkeit der Sehne sind nicht als wahrscheinlich anzunehmen. Eine Subgruppen-Analyse zeigte eine Zunahme der Sehnenkraft vor der Entwicklung der Symptomatik in SYM bei eher konstanten Werten in ASYM.

Schlussfolgerung

Die vorliegende prospektive Studie liefert neue Belege dafür, dass die maximale Dehnung der Sehne in vivo ein wichtiger Risikofaktor für die Entwicklung von Überlastungsbeschwerden sein könnte. Die erhöhte Beanspruchung basiert auf einer nicht-adäquaten Adaptation der Sehne an die Kraftentwicklung des Muskels, die durch Störungen des Metabolismus oder einer reduzierten Mechanosensitivität der Sehne unter bestimmten Belastungsbedingungen bedingt sein könnte.

V34

Biomechanische Kräfte in der Mikroumgebung von Tumoren modulieren deren invasives Potential

N. Wiesmann (Mainz/DE), S. Kaya (Mainz/DE), A. Nogueira (Mainz/DE), J. Deschner (Mainz/DE), P. Kämmerer (Mainz/DE)

Die Zellen im menschlichen Körper nehmen ständig die mechanischen Kräfte und physikalischen Eigenschaften der sie umgebenden extrazellulären Matrix wahr. Dies ist insbesondere auch im Mundraum der Fall, wo durch Atmung, Nahrungsaufnahme, Schlucken und Sprechen vielerlei mechanische Reize zusammentreffen. Inzwischen ist gut bekannt, dass im Rahmen der Tumorentstehung massive Umbauten der extrazellulären Umgebung vonstattengehen, die auch mit veränderten biomechanischen Eigenschaften einher gehen.

Ziel der vorliegenden Studie war es, zu untersuchen welchen Einfluss dynamische biomechanische Reize auf die Eigenschaften tumorassoziierter Fibroblasten haben und welchen Einfluss diese Zellen wiederum auf das migratorische Potential der Tumorzellen selbst nehmen können.

Im Rahmen der Studie wurden primäre Fibroblasten sowohl aus gesunder Mundschleimhaut als auch aus Tumoren isoliert. Mit Hilfe eines computergesteuerten Bioreaktorsystems wurden diese *in vitro* kultivierten Zellen dann zyklischen biomechanischen Belastungen ausgesetzt.

Wir konnten erstmals zeigen, dass dynamische mechanische Reize das migratorische Potential von tumorassozierten Fibroblasten erhöhen können. Außerdem konnten wir zeigen, dass der Zellkulturüberstand von mechanisch stimulierten Fibroblasten orale Plattenepithelkarzinomzellen ebenfalls zur Migration anregt. Dabei hatten tumorassozierte Fibroblasten ein höheres stimulatorisches Potential als Fibroblasten aus gesunder Mukosa.

Diese Daten zeigen, dass biomechanischen Prozessen im Rahmen der Tumorentstehung und Tumorprogression eine wichtige Rolle spielen und die Mikroumgebung von Tumoren noch mehr als bisher bei Diagnosestellung und Therapie mit einbezogen werden sollte.

V35

Effects of consecutive repetitive high cyclic mechanical loading on muscle and tendon adaptive responses

G. Epro (London/GB), F. Suhr (Leuven/BE), K. Karamanidis (London/GB)

Muscle strength gains are generally accompanied by an increase in tendon stiffness¹. However, muscle responds to mechanical stimuli at faster rate of tissue renewal than tendon². Thus, exercise with insufficient resting periods may end in a net degradation of tendon matrix³, increasing its mechanical demand (i.e. higher tendon strain). We investigated the adaptive response of triceps surae muscle-tendon unit (MTU) and extracellular matrix (ECM) biomarkers to consecutive repetitive high strain cyclic loading.

Eleven male adults performed 12 consecutive days resistance exercise intervention of high AT strain cyclic loading (90% MVC isometric plantarflexion contractions)¹ with one leg once a day (~24h rest) and the other leg three times a day (~2h between sessions within day). Along the exercise, triceps surae MTU mechanical properties (maximal AT force, maximal AT strain and AT stiffness) and serum concentration of ECM biomarkers were determined.

Only the three times a day trained leg had a ~20% increase in AT maximum strain after 8 days of cyclic loading with a corresponding decrease in AT stiffness, which persisted even after 48h after the exercise period. No changes in inflammation markers were observed, but a modified regulation of matrix metalloproteinases along with gradual increase in collagen type I propeptides concentrations. In both legs, maximal AT force increased and reached a plateau at ~10% after 6-8 days.

More frequent high strain cyclic loading seems to alter AT mechanical properties to higher extent. The insufficient regeneration between training sessions seems to accumulate molecular damage within the AT, as indicated by altered collagen turnover and delayed increase in collagen type I synthesis rate. The resultant increased tendon strain may predispose it to overuse injuries as its tolerance to high tensile loading could be diminished.

References:

¹Arampatzis et al. 2007

²Heinemeier et al. 2013

³Magnusson et al. 2010

Session 6 • Wirbelsäule

V36

Primärstabilitätsnachweis mittels Pullout von MC-Schrauben nach zyklischer Belastung an osteoporotischen Wirbeln mit 360°-Fusion

R. Heilmann (Leipzig/DE), S. Schleifenbaum (Leipzig/DE), J. S. Jarvers (Leipzig/DE), C. E. Heyde (Leipzig/DE), N. von der Höh (Leipzig/DE)

Fragestellung

Bei Fusionen mit verminderter Knochenqualität ist eine hohe Primärstabilität durch das Schrauben-Stab-Konstrukt für verschiedene Bewegungsrichtungen nachzuweisen, da die Fusion im Vergleich zu knochengesunden Patienten erst Monate später eintritt. MC-Schrauben (midline cortical) liefern besonders bei Osteoporose eine hohe Festigkeit. Aber die Positionierung ist schwierig, sodass es zu Pedikelsprengungen und Fehllagen kommen kann. Custom-made-Schablonen verringern diese Risiken. Am Mehrachs-Versuchsstand wurde die Primärstabilität von MC Schrauben nach zyklischer Belastung untersucht.

Methodik

18 humane Wirbelsegmente bestehend aus L2/L3 sowie L4/L5 wurden mit MC-Schablonen als 360°-Konstrukt instrumentiert (8 Segmente TLIF; 10 Segmente PLIF). Diese wurden in einem Mehrachs-Prüfstand mit jeweils 10.000 Zyklen Extension-Flexion (5Nm), laterale Flexion (5Nm) und axiale Rotation (2Nm) bei einer axialen Druckkraft von 60% der Masse des Körperspenders belastet. Vor und nach der zyklischen Belastung wurde die Lage der Schrauben und der Cages radiologisch geprüft und die Restfestigkeit der Schrauben mittels Pullout bestimmt.

Ergebnisse und Schlussfolgerung

Bei 60 Schrauben wurde eine präzise intrapedikuläre Lage festgestellt. Fehllagen wurden in 3 Fällen beobachtet, hier waren retrospektiv die Schablone bzw. die Anwendung der Schablone durch äußere Umstände nicht ideal und wurden aus der Testung entfernt. Die Analyse der Pulloutkräfte von 15 getesteten Wirbelsegmenten ($BMD = 0.89 \pm 0.12 \text{ g/cm}^2$) zeigte tendenziell eine Festigkeitszunahme von L2 nach L5. Die Abhängigkeit vom Cagedesign war nicht signifikant ($p = 0,97$). Es konnten mit der MC-Schablonen-Technik sehr hohe Verankerungsstabilität erzielt werden, was vermutlich auf die exakte Positionierung zurückzuführen ist, sodass Pedikelverletzungen und Schraubenfehllagen durch die Schablonenanwendung größtenteils vermieden werden konnten.

Tab. 1: Pulloutkräfte

Segment	TLIF-Cage		PLIF-Cages	
	Mittelwert [N]	Standardabw. [N]	Mittelwert [N]	Standardabw [N]
L2	875.26	430.59	697.84	323.44
L3	591.05	360.17	695.94	311.34
L4	1020.82	450.59	1517.73	392.60
L5	1107.43	462.54	1356.96	936.22
Gesamt	969.56	472.65	974.56	622.22

Abb. 2

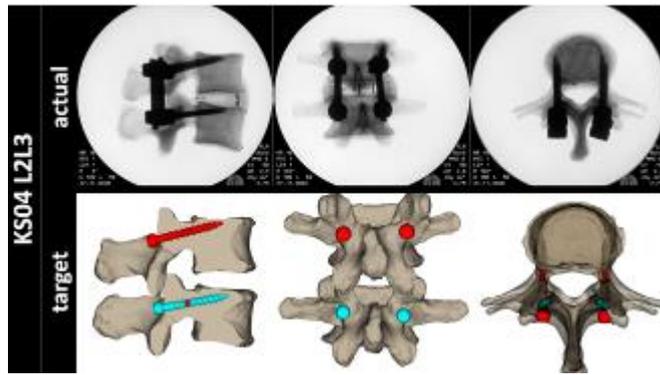


Abb2: Bsp.-Vergleich Planung und Umsetzung

V37

Ein Bandscheibenersatz kann die Kinematik der Halswirbelsäule erhalten

M. Vogt (Ulm/DE), L. Zengerle (Ulm/DE), R. Jonas (Ulm/DE), H. J. Wilke (Ulm/DE)

Fragestellung

Die komplexe Bewegung der intakten Halswirbelsäule (HWS) kann in vitro sowohl in Bezug auf den Bewegungsumfang als auch in Bezug auf die Bewegungsachsen repliziert werden [1]. In dieser in vitro Studie sollte untersucht werden, welchen Einfluss ein Bandscheibenersatz auf dieses physiologische Bewegungsmuster hat.

Methoden

Sechs einzelne Bewegungssegmente aus humanen Spenderwirbelsäulen (C4-5, Durchschnittsalter 32 Jahre, Spanne 19-47 Jahre) wurden im intakten Zustand sowie nach Bandscheibenersatz biomechanisch charakterisiert. Jedes Segment wurde für 3,5 Zyklen bei 1°/s quasistatisch mit reinen Momenten von bis zu 2,5 Nm in Flexion/Extension (FE), Seitneigung (SN) und axialer Rotation (AR) belastet. Die Bewegung der einzelnen Wirbel wurde mit einem Bewegungsanalysesystem bestimmt. Für jeden dritten Zyklus wurde der Bewegungsumfang ermittelt, sowie mit einer etablierten Methode die inkrementellen dreidimensionalen helikalen Achsen berechnet und in Röntgenbilder projiziert [1]. Die statistische Auswertung erfolgte per Friedmann-Test mit anschließenden Post-hoc Dunn-Bonferroni-Tests ($p < 0,05$).

Ergebnisse

Der Bewegungsumfang nach Bandscheibenersatz betrug in FE und AR 103 %, in SN 84 % des jeweiligen Intaktzustands (Unterschiede nicht signifikant). Dabei waren sowohl Position als auch Orientierung der helikalen Achsen in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der intakten Präparate (Abb. 1).

Diskussion

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Bewegungsumfang der intakten HWS durch einen Bandscheibenersatz annähernd wiederhergestellt werden kann und dabei die Bewegungsachsen erhalten bleiben. Diese in vitro helikalen Achsen wiederum ähneln sehr den in vivo Ergebnissen gesunder Probanden [2].

Das legt nahe, dass mit dem getesteten Bandscheibenersatz die Quantität und Qualität der Bewegung der intakten HWS in vitro nachgebildet werden kann.

Literatur

1. Jonas et al, Spine J, 18(3):515-524, 2018.
2. Anderst et al, J Biomech, 48(7):1286-1293, 2015.

Abb. 1

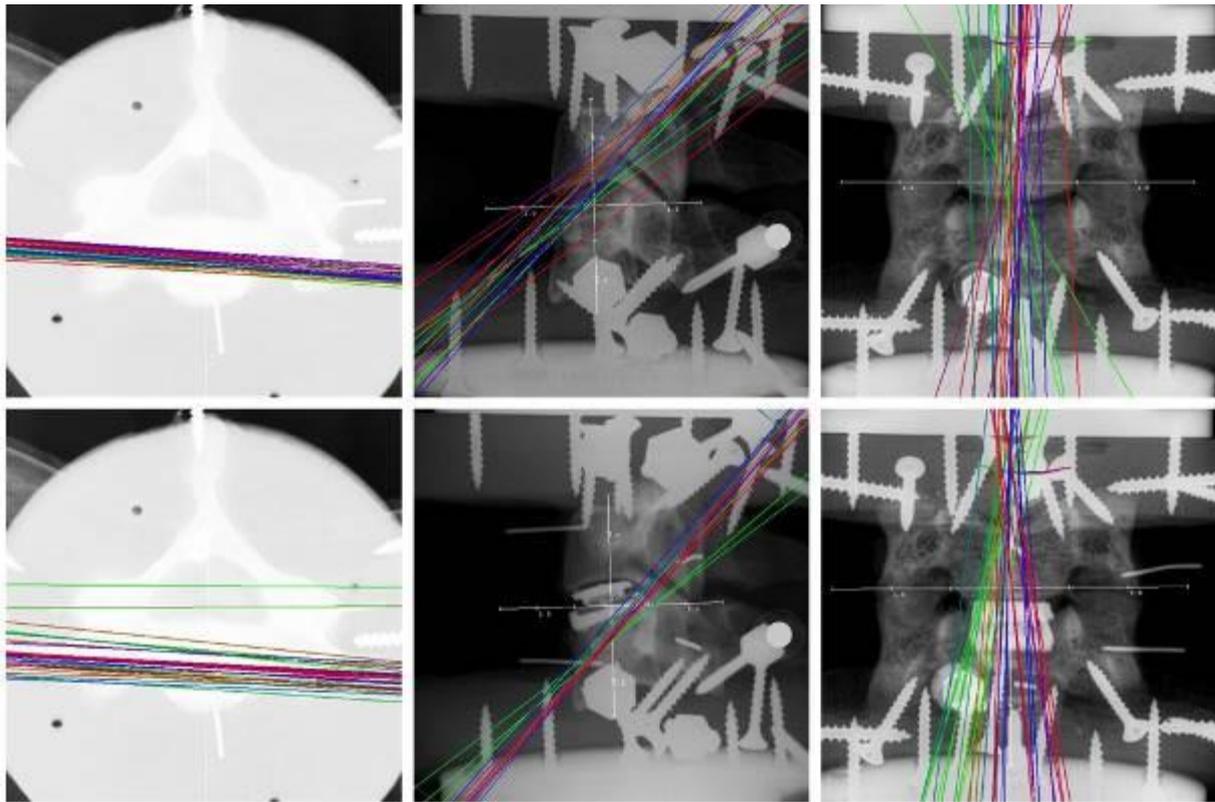


Abb. 1: Helikale Achsen eines intakten Präparates (oben) und des selben Präparates nach Bandscheibenersatz (unten) in FE (links, axiale Ansicht), SN (Mitte, laterale Ansicht) und AR (rechts, frontale Ansicht).

V38

Eine hybride biomechanische Analyse der Wirbelsäule: Kombination aus in-vitro und Finite-Elemente Untersuchungen

B. Schlager (Ulm/DE), M. Vogt (Ulm/DE), C. Liebsch (Ulm/DE), H. J. Wilke (Ulm/DE)

Fragestellung

Mittels In-vitro-Experimente kann die Steifigkeit von Wirbelsäulensegmenten sowie der Einfluss von Implantaten quantifiziert werden. Der Bewegungsumfang der Wirbelsäule wird dabei meist über Marker eines Bewegungsmesssystems ermittelt. Hierbei fehlen jedoch Informationen zur Morphologie und Lage der Wirbelkörper, womit etwa die Verschiebung der Gelenkfacetten analysiert werden könnte (Abb. 1A).

Ziel dieser Studie war es, eine Methode zu entwickeln und zu validieren, welche eine 3-dimensionale Abbildung und numerische Simulation der In-vitro-Experimente erlaubt.

Methoden

Eine spezielle Validierungsstruktur wurde entworfen, mit der die Genauigkeit der Methode quantifiziert werden sollte (Abb. 1B). Auf diese Struktur wurden retroreflektierende Marker an genau definierten Punkten fixiert. Anschließend wurden CT-Aufnahmen von dieser Struktur erstellt. Die Struktur wurde in einem Versuchsaufbau schrittweise verschoben. Die Verschiebung wurde mittels eines optoelektronischen Messsystems (Vicon MX13) aufgezeichnet. Zusätzlich wurde die Distanz zweier Referenzpunkte mit einem Messschieber manuell gemessen. Die erfassten Daten wurden schließlich mit der aus den CT-Daten rekonstruierten Struktur verknüpft.

Ergebnisse

Die Marker wiesen eine Grundvarianz von ca. 0,05 mm in der statischen Position, und bei Bewegung von 0,2 mm auf. Der Vergleich der Marker-Position im CT und der Marker-Position im Messsystem wies eine Differenz im Mittel von 0,4 mm auf. Diese Differenzen summierten sich letztendlich zu einer durchschnittlichen Abweichung von 0,6 mm zwischen der manuell gemessenen und berechneten Verschiebung auf.

Schlussfolgerungen

Eine Methodik zur Verknüpfung von In-vitro- und CT-Daten wurde erfolgreich entwickelt und validiert. Über die Optimierung des Messaufbaus kann die Genauigkeit weiter reduziert werden. Die Auflösung des CTs stellt hierbei eine Grenze der Genauigkeit dar, da hiervon die Rekonstruktion der knöchernen Strukturen abhängt.

Abb. 1

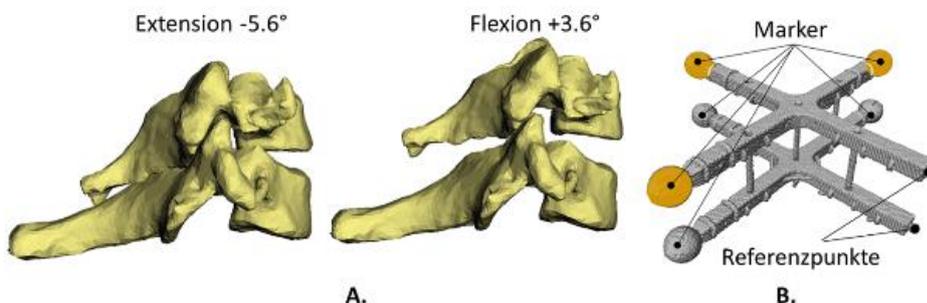


Abbildung 1: **A.** Aus CT-Daten rekonstruierte zervikale Wirbelkörper überlagert mit Bewegungsanalyse-Daten. **B.** CT-Rekonstruktion der Validierungsstruktur inklusive der retroreflektierenden Marker.

V39

Untersuchung der Schraubenauszugskraft von Pedikelschrauben in Abhängigkeit von der mechanischen Stabilität der Spongiosa

F. Metzner (Leipzig/DE), S. Schleifenbaum (Leipzig/DE), C. E. Heyde (Leipzig/DE), N. von der Höh (Leipzig/DE)

Fragestellung

Die Primärstabilität von dorsal eingebrachten Pedikelschrauben hängt größtenteils von der Knochenqualität ab. Osteoporose führt zu einer Verringerung der Knochensubstanz mit einem erhöhten Risiko für Schraubenlockerung und Verlust der zu erhaltenen Korrektur in den Wirbelsäulensegmenten. Zielstellung dieser Studie ist die Untersuchung des Einflusses der mechanischen Stabilität der Wirbelkörperspongiosa auf die Schraubenauszugskraft.

Methoden

Untersucht wurden 26 Wirbelkörper (T6–L5) von 3 Körperspendern. In jeden Wirbel wurde randomisiert auf einer Seite eine Pedikelschraube in klassischer Trajektorie instrumentiert, mit Gießharz in einer Hülse fixiert, und im axialen Pullout-Versuche (ASTM F35-17) die maximale Auszugskraft F_{\max} bestimmt. Auf der Gegenseite wurde eine zylindrische Probe ($\varnothing 6 \times 12 \text{ mm}$) in superior/inferior Richtung entnommen und im einachsigen Druckversuch die Parameter Modul (E), Maximalspannung (σ_{\max}) und Plateauspannung (σ_p) ermittelt. Letztere berechnet sich aus dem Mittel aller Spannungswerte zwischen 20% und 40% Dehnung. Zudem wurde aus dem Probenvolumen und der Probenmasse die apparente Knochendichte (ρ_{app}) berechnet.

Ergebnisse

Die Modellierung von F_{\max} mit den Parametern des Spongiosazylinders ergibt für alle untersuchten Gruppen signifikante Modelle. Sowohl ρ_{app} als auch σ_{\max} erklären jeweils ca. 60% der Varianz von F_{\max} . E und σ_p zeigen geringere Modellgüten. Die Kurve von F_{\max} über die mechanischen Parameter der Spongiosa zeigt mit steigender Knochenfestigkeit eine Sättigung hin zu einer Auszugskraft von 1500N bis 2000N.

Schlussfolgerungen

Für eine optimale Versorgung ist die detaillierte Kenntnis über die Knochenarchitektur im Wirkungsbereich des Implantates von zentraler Bedeutung.

Tab. 1: Modellierung von F_{\max} mittels Kurvenanpassung unter Verwendung einer Potenzfunktion ($y=a \cdot x^b$)

	R²	P-Wert	a	b
F_{max} vs. ρ_{app}	0,61	0,00	782,49	3,89
F_{max} vs. E	0,39	0,00	85,56	0,43
F_{max} vs. σ_{\max}	0,59	0,00	540,42	0,55
F_{max} vs. σ_p	0,47	0,00	602,38	0,43

Abb. 2

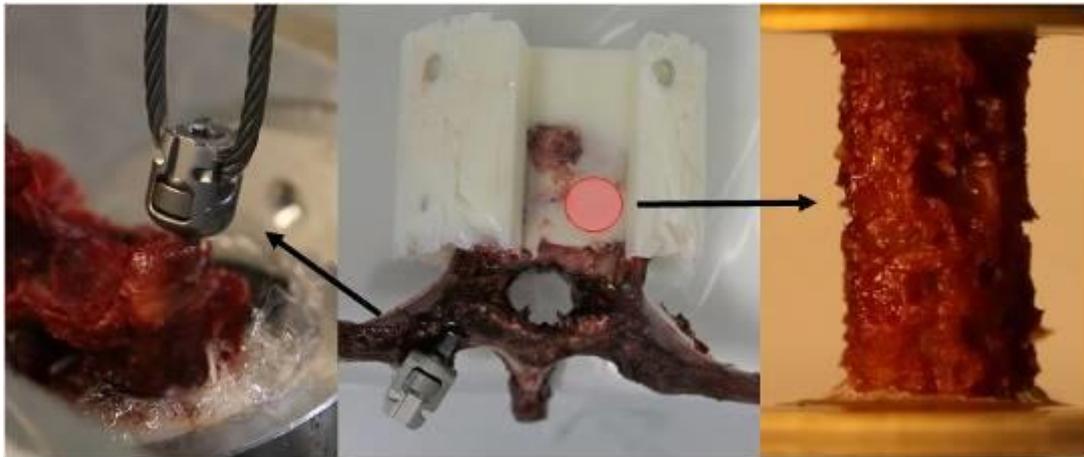


Abbildung: Eingebetter Wirbelkörper (mitte), Pedikelschraube während axialen Pullout (links) und Spongiosaprobe im Druckversuch (links)

V40

Einfluss von Alter und lumbaler Spinalkanalstenose auf die statische und dynamische sagittale Wirbelsäulenstatik – Resultate einer Pilotstudie

D. Koch (Basel/CH), C. Nüesch (Basel/CH), S. Schären (Basel/CH), A. Mündermann (Basel/CH), C. Netzer (Basel/CH)

Fragestellung

Die Wirbelsäulen (WS)-Statik ist abhängig von Alter und Krankheitsbild^{1,2} und wird auf Röntgenbildern durch globale (z.B. WS-Neigung (WSN)) oder lokale (z.B. thorakale Kyphose (TK) und lumbale Lordose (LL)) Parameter beschrieben. Womöglich unterscheidet sie sich zwischen Patienten mit symptomatischer lumbaler Spinalkanalstenose (sLSS) und gesunden Personen². Die 3D-Bewegungsanalyse erlaubt vergleichbare Parameter dynamisch zu erfassen. Ziel war zu untersuchen, ob sich die WS-Statik beim Stehen und Gehen zwischen Patienten mit sLSS, älteren und jungen gesunden Personen unterscheidet.

Methoden

Bei 10 Patienten mit sLSS (5M/5F; Alter, 70±10 Jahre; Body Mass Index (BMI), 29±5 kg/m²), 10 älteren gesunden Probanden (5M/5F; 65±5 Jahre; 25±6 kg/m²) und 10 jungen gesunden Probanden (5M/5F; 26±2 Jahre; 22±2 kg/m²) wurde die WS-Statik über 18 reflektierende Marker auf den WS-Dornfortsätzen bestimmt. Die WS-Krümmung wurde mit einem Polynom 3. Grades berechnet³ und die Winkel zwischen T3 und T12 (TK), L1 und S1 (LL), sowie zwischen S1-C7 und der Vertikalen (WSN) berechnet (Fig.1). Der Einfluss von Gruppe und Bewegung auf die WS-Statik wurde mittels zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung (P<0.05) untersucht.

Resultate

Die WSN war beim Gehen signifikant grösser als beim Stehen und bei Patienten und Älteren grösser als bei Jungen (Fig.2; alle P<0.001). Dieser Unterschied zwischen den Bewegungen war bei Patienten und Älteren grösser als bei Jungen (Interaktion: P=0.015). Bei TK zeigte sich ein signifikanter Gruppeneffekt (P=0.012) mit höheren Werten bei Älteren als bei Jungen.

Schlussfolgerungen

Die untersuchten WS-Statik-Parameter scheinen hauptsächlich vom Alter und Bewegung aber nicht von der sLSS abhängig zu sein. Inwieweit Ermüdung oder sich verstärkende Symptome bei Patienten dies beeinflussen könnten, muss weiter untersucht werden.

1 Zappala et al. 2021 *J Orthop Surg Res*

2 Farrokhi et al. 2016 *Clin Neurol Neurosu*

3 Ignasiak et al. 2017 *Hum Mov Sci*

Abb. 1

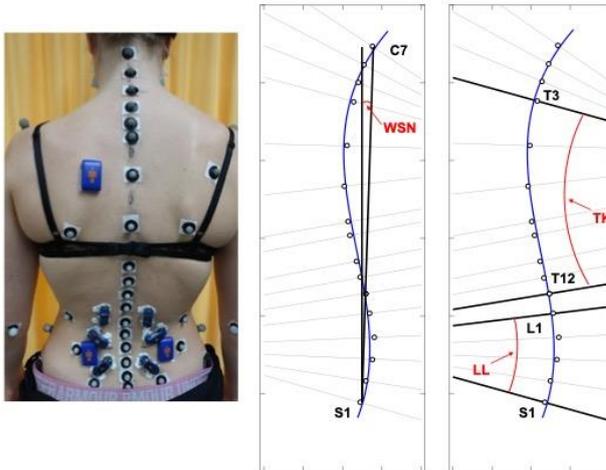


Fig.1: Markerplatzierung auf den Dornfortsätzen (links) und Definition der WS-Statik Parameter WSN (Mitte), TK und LL (rechts)

Abb. 2

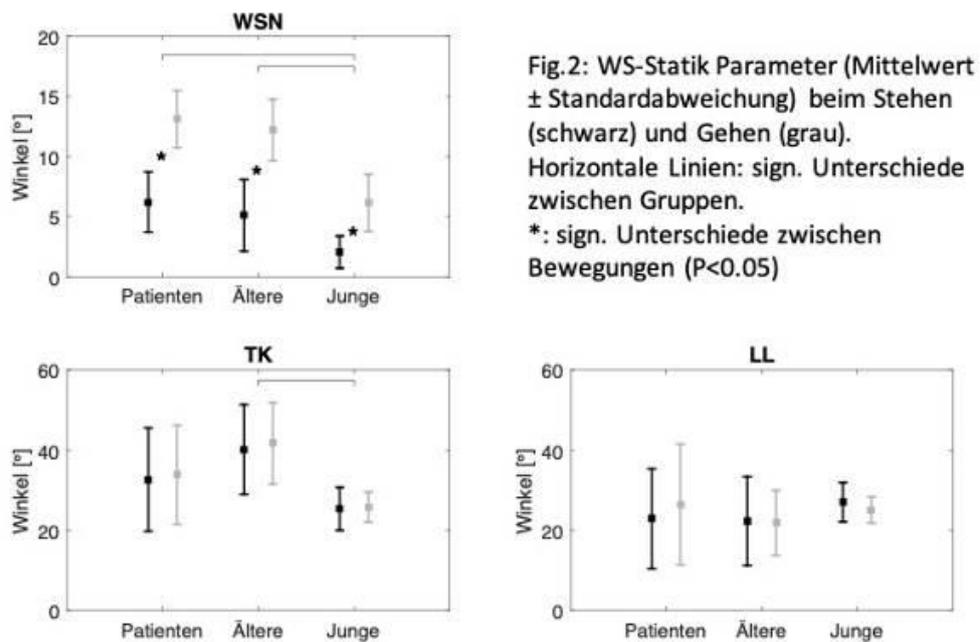


Fig.2: WS-Statik Parameter (Mittelwert \pm Standardabweichung) beim Stehen (schwarz) und Gehen (grau). Horizontale Linien: sign. Unterschiede zwischen Gruppen. *: sign. Unterschiede zwischen Bewegungen ($P < 0.05$)

V41

In-vitro-Modelle für die biomaterial-basierte Bandscheibentherapie: Vergleich der Matrixabbau-Effekte nach Chondroitinase versus Papain-Verdau

J. U. Jansen (Ulm/DE), L. Cada (Ulm/DE), G. Q. Teixeira (Ulm/DE), A. Vernengo (Davos/CH), S. Grad (Davos/CH), K. Benz (Reutlingen/DE), C. Neidlinger-Wilke (Ulm/DE), H. J. Wilke (Ulm/DE)

Fragestellung: Biomaterialien (Bmat) werden für innovative, regenerative Bandscheiben(BS)-Therapien immer bedeutender [1]. Die biomechanische Testung eines in-situ-injizierten Bmat erfordert geeignete Modelle, die ähnliche Degenerationsmuster zeigen, wie humane BS. Da Letztere nur begrenzt verfügbar sind, gelten bovine BS als mögliche Modelle. Ziel der Studie war es diese mittels Enzymverdau künstlich zu degenerieren und nach Bmat-Injektion vergleichend zu charakterisieren.

Methoden: In 3 von 4 Gruppen (n=6) boviner Schwanz-BS wurden 1U Chondroitinase (ChABC), 13U Papain oder PBS injiziert, die BS 7d inkubiert (6% O₂, 37 °C) und danach komplex belastet. Die 4. Gruppe wurde frisch getestet und nicht inkubiert. Nach Injektion von röntgendichtem Hydrogel in alle BS wurde dessen Verteilung mittels μ CT dargestellt. Der Bewegungsumfang (ROM) und die BS-Höhe wurden vor und nach Enzymbehandlung, nach Belastung und nach Injektion bestimmt.

Ergebnisse: Nur Papain verdaute BS zeigten nach Inkubation eine Kavität im Nukleus. Nach Inkubation und Belastung nahm die Höhe der enzymbehandelten BS signifikant ab ($p \leq 0,009$) und deren ROM zu ($p \leq 0,026$) (Abb 1). In enzymverdaute BS konnte signifikant mehr Gel injiziert werden als in nicht Enzym behandelte (Abb 2A, $p=0,002$). Das injizierte Gel stellte für ChABC- und Papain-BS die ursprüngliche BS-Höhe ($p \leq 0,015$) und den ROM ($p \leq 0,037$) wieder her (Abb 2B/C). μ CT und anschließende Makroskopie zeigten fragmentierte Gelbereiche für ChABC und eine homogenere Gelverteilung für Papain.

Schlussfolgerungen: Die ROM-Zunahme, die Höhenabnahme und die Kavitäten in der Papain-Gruppe ähneln dem Verhalten einer menschlichen BS nach BS-Vorfall oder Nukleotomie [2]. ChABC-induzierter Matrixabbau simuliert eher die altersbedingte Degeneration ohne Kavitäten. Beide Enzymbehandlungen ermöglichen eine standardisierte Gelinjektion und können aufgrund der unterschiedlichen Verteilungsmuster je nach Fragestellung verwendet werden. [1] Zheng 2021 [2] Wilke 2013

Abb. 1

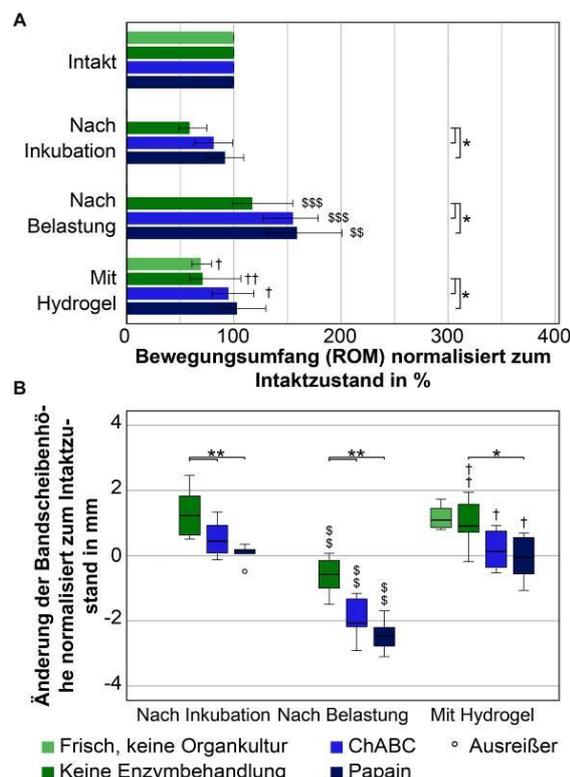


Abb. 1 Bewegungsumfang für Flexion-Extension (A) sowie Höhenänderung der Bandscheiben normalisiert auf den Intaktzustand (B). Darstellung nach Gruppe und Zeitpunkt. Statistik mit $p \leq 0,05$. * signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen am jeweiligen Zeitpunkt (Mann-Whitney-U). S signifikante Unterschiede für jeweilige Gruppe zwischen Zeitpunkten „Nach Belastung“ vs. „Nach Inkubation“ bzw. † zwischen „Nach Inkubation“ vs. „Mit Hydrogel“ (Friedman mit Benjamini step-up)

Abb. 2

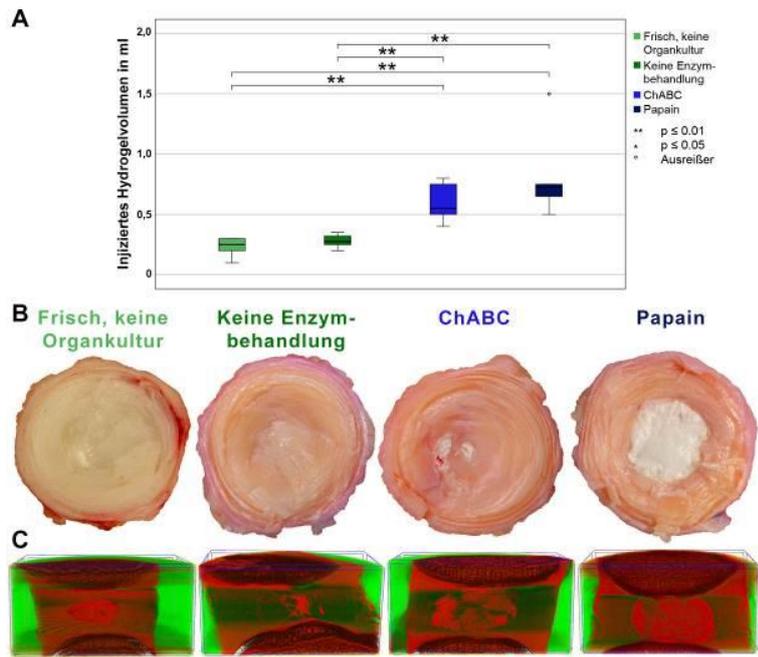


Abb. 2 A) Maximal injizierbares Hydrogelvolumen (Tag 7, n = 6 pro Gruppe, Unterschiede mittels Mann-Whitney-U)
B) Makroskopische, transversale Ansicht der Bandscheiben an Tag 7 nach Hydrogel-Injektion (je ein Beispiel pro Gruppe) C) Je eine μ CT-Rekonstruktionen zur Visualisierung der Hydrogel-Verteilung nach der Injektion pro Gruppe

V42

Vorwärtsdynamische Simulationen zur Bestimmung von Belastungsveränderungen bei Dekompressionsmethoden an der Lendenwirbelsäule

A. Müller (Koblenz/DE), R. Rockenfeller (Koblenz/DE), K. Gruber (Koblenz/DE)

Täglich werden in Deutschland zahlreiche Operationen an der menschlichen Wirbelsäule (WS) durchgeführt. Darunter fallen auch Dekompressionsmethoden zur Beseitigung eines verengten Spinalkanals. In der medizinischen Diagnostik gibt es jedoch keine Möglichkeiten die Auswirkungen dieser Operationen auf das Bewegungsverhalten der WS vorherzusagen. Zudem ist es in Vivo nicht möglich, innere Kräfte zu bestimmen.

Computersimulationen stellt hier eine fundamentale Weiterentwicklung für die medizinische Diagnostik dar. Auf der Grundlage der existierenden Bilddaten wie CT und MRT, kann ein patientenspezifisches Computermodell erstellt werden, das die exakte WS widerspiegelt (vgl. Abb.1).

Aus 14 Patientendaten (CT) mit degenerativer Spondylolisthese sowie einhergehender Stenose wurden individuelle Computermodelle der LWS erstellt. Ziel war die vergleichende Beurteilung des destabilisierenden Effekts zweier OP-Methoden zur Dekompression, nämlich die der *interlaminaren Fensterung* sowie der *Laminektomie*. Mit den Modellen wurden beide Verfahren unter standardisierter äußerer Belastung simuliert und das Bewegungsverhalten der WS sowie die auftretenden inneren Kräfte vor und nach Durchführung der beiden Therapieverfahren berechnet.

Hierbei zeigt sich deutlich, dass die Kompressionskräfte in den Bandscheiben mit steigender Invasivität abnehmen, wobei die wirkenden Drehmomente deutlich steigen. Nach Berger-Roscher et al. (2017) stellt die Kombination einer Kompression und Rotation die größte Belastung für eine Bandscheibe dar. Daraus resultiert, dass invasive Dekompressionsmethoden zu einer beschleunigten Degeneration führen.

Berger-Roscher, N., Casaroli, G., Rasche, V., Villa, T., Galbusera, F. and Wilke, H.J. Influence of Complex Loading Conditions on Intervertebral Disc Failure. Spine, 42, 2,(2017) E78-e85

Abb. 1

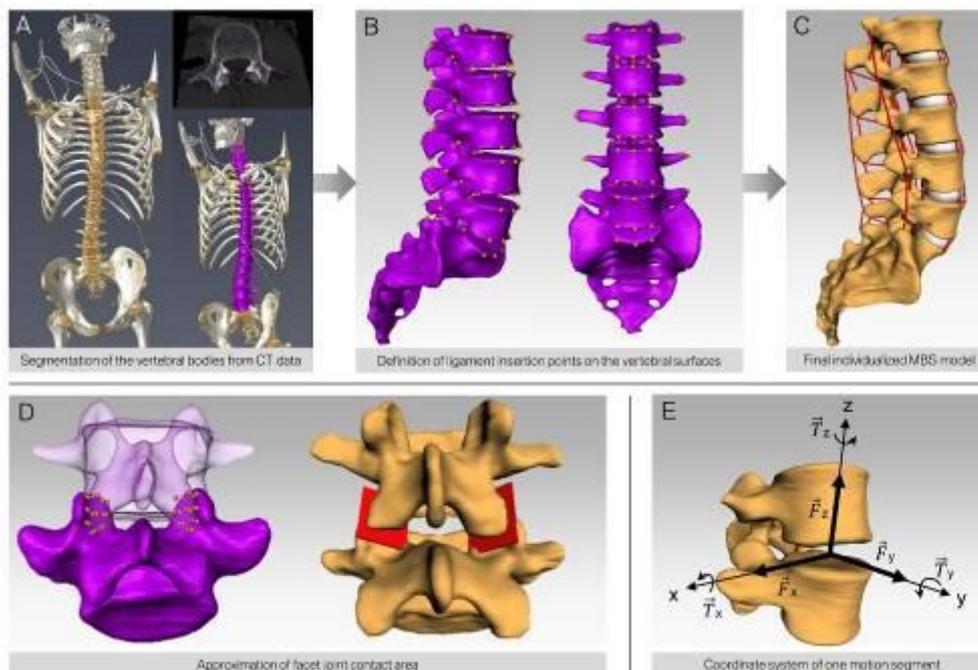


Abb. 1: Aufbau eines individuellen Computermodells

Session 7 • Klinische Studien und Prothetik II

V43

Bestimmung der Leistungsbilanz von Prothesenfüßen: Welches Berechnungsmodell liefert die zuverlässigsten Daten?

E. Pröbsting (Göttingen/DE), B. Altenburg (Göttingen/DE), T. Schmalz (Göttingen/DE), K. Krug (Münster/DE)

Fragestellung Konventionelle Prothesenfüße sind passive Komponenten, die unter Belastung Energie speichern und zurückgeben. Alternativ stehen seit kurzer Zeit Füße mit mikroprozessorgesteuerten Knöchelantrieben zur Verfügung. Zur Charakterisierung der Prinzipien wird häufig die Leistungsbilanz unter Belastung genutzt. Hierzu werden unterschiedliche Berechnungsmodelle genutzt und diskutiert. Im Beitrag werden diese Ansätze vergleichend bewertet.

Methoden Die Leistungsbilanz dreier konstruktiv differenter Prothesenfüße (genutzt von 6 Oberschenkelamputierten), wurde beim Gehen mit folgenden Methoden bestimmt:

V1 Produkt aus sagittalem Knöchelmoment und Winkelgeschwindigkeit des "Knöchelgelenks" in der Sagittalebene – biomechanische Standardmethode

V2 entspricht V1, die Berechnung erfolgt hier 3-dimensional

V3 Summe der rotatorischen und translatorischen Leistung in der Sagittalebene

V4 3-dimensionales, einheitlich verformbares Segmentmodell nach Takahashi 2012

Ergebnisse Nach dem Berechnungsmodell V1 würde der Karbonfuß mehr Energie wiedergeben, als er während der Standphase speichern kann (Abb.1). Dies ist physikalisch nicht möglich und daher unrealistisch.

Durch V1 und V2 wird in der Leistungs- Zeit- Kurve die absorbierte Leistung durch das "Einsinken" in die Ferse des Prothesenfußes prinzipiell nicht widergespiegelt (Abb.2).

Die Ergebnisse für V3 und V4 repräsentieren nachvollziehbare Effekte (auch für den Fußvergleich) und korrelieren, sowohl für den Leistungs-Peak am Standphasenende als auch für die energetische Gesamtbilanz unter Belastung ($r > 0.90$).

Schlussfolgerung Zur Bestimmung der Prothesenfußleistung sind V1 und V2 ungeeignet. Bei den Leistungsbestimmungen V3 und V4 werden die Verformungsprozesse adäquat berücksichtigt und sollten bei Fußvergleichen angewendet werden. Die korrelierenden Aussagen dieser Berechnungen zeigen, dass die einfache 2-dimensionale Bestimmung V3 für die Analyse der Leistungsbilanz von Prothesenfüßen ausreichend ist.

Abb. 1

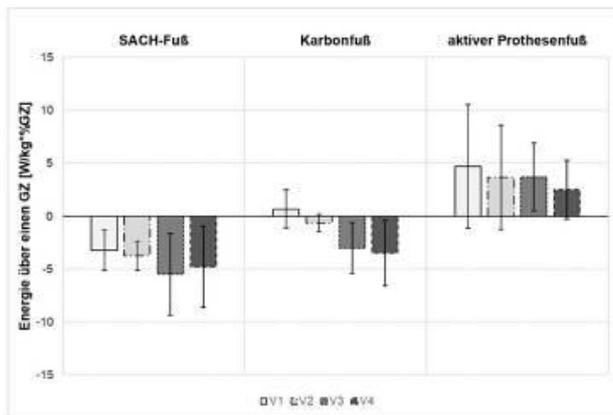


Abb.1 Mittelwert (n=6) der Gesamtenergie über einen Gangzyklus für drei verschiedene Prothesenfüße, mit vier unterschiedlichen Berechnungsmethoden bestimmt.

Abb. 2

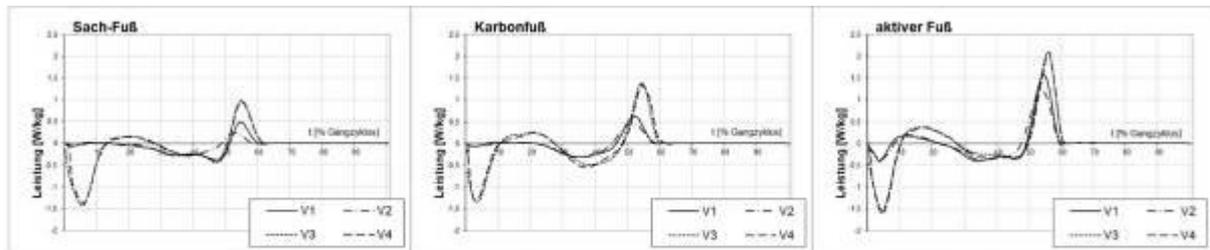


Abb.2 Prothesenfußleistung für drei verschiedene Prothesenfüße, mit vier unterschiedlichen Berechnungsmethoden bestimmt. Beispielkurven für einen Probanden.

V44

Die Wirkung aktiver Prothesenfüße: Biomechanische und metabolische Effekte – eine Einzelfallstudie T. Schmalz (Göttingen/DE), F. Oswald (Göttingen/DE), M. Bellmann (Göttingen/DE)

Die Weiterentwicklung von Komponenten für die prothetische Versorgung von Beinamputierten wird auch durch die Einführung von aktiven Prothesenfußkonzepten geprägt. Die biomechanischen Effekte dieser künstlichen Antriebe sind eindeutig nachgewiesen, die damit erwartbare Reduktion des metabolischen Energieverbrauchs ist jedoch nicht immer messbar. In der explorativen Fallstudie mit jeweils einem unterschenkel- und Oberschenkelamputierten Patienten werden biomechanische und metabolische Parameter beim ebenen und Aufwärtsgehen mit einem repetitiven cross-over design gemessen, um mögliche Adaptationseffekte, die die metabolischen Parameter beeinflussen, zu minimieren.

Das ebene Gehen und das Aufwärtsgehen (5°) wurde für beide Probanden mit einem aktiven Prothesenfuß in zwei Situationen (aktive Plantarflexion an oder aus) biomechanisch (optoelektronisches Kamerasystem/Kraftmessplatten; ebenerdige Laufstrecke/Testrampe) und metabolisch (Spiroergometriesystem, Laufband) vermessen. Dazu absolvierte jeder Proband an vier Messtagen innerhalb von zwei Wochen Messungen mit sechs Kombinationen bzgl. an oder ausgeschaltetem Fuß.

Bei beiden Patienten vergrößern sich mit aktiver Plantarflexion insbesondere die horizontalen GRF, die vertikalen/horizontalen Kraftstöße (2. Standphasenhälfte), die finale Plantarflexion in der Standphase und die in der zweiten Standphasenhälfte generierten Maxima der Knöchelleistung signifikant (Abb. 1). Die gemessenen Sauerstoffkosten zeigen mit aktiver Plantarflexion nur beim Aufwärtsgehen des Unterschenkelamputierten einen signifikant reduzierten Wert (5%, Abb.2).

Die im Gegensatz zu den eindeutigen biomechanischen Resultaten nur geringen metabolischen Effekte sollten Anlass sein, die Sinnhaftigkeit eingelenkiger prothetischer Antriebe zu diskutieren, da dies der mehrgelenkig gesteuerten menschliche Fortbewegung nicht adäquat entspricht.

Abb. 1

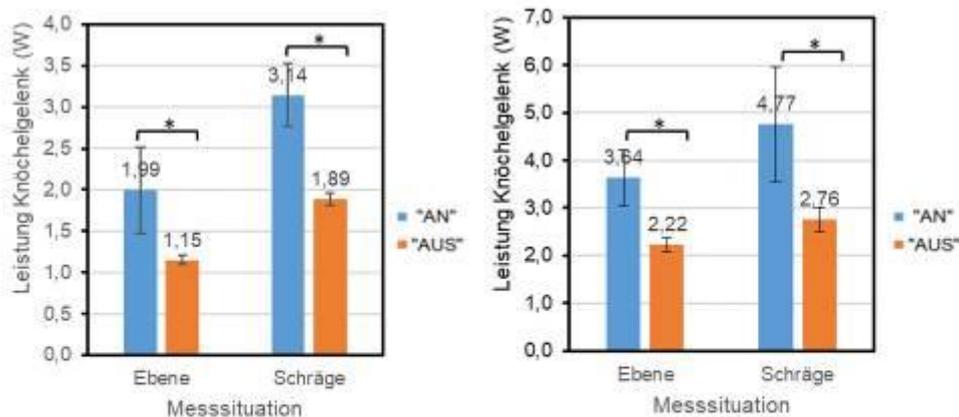


Abb. 1: Mittlere Maximalwerte der im Knöchelgelenk in der finale Standphase generierten Leistung mit an- und ausgeschaltetem aktiven Antrieb (links: Unterschenkelamputierter, rechts:Oberschenkelamputierter) beim ebenen Gehen und Aufwärtsgehen (5°, *: signifikante Differenz mit $p < 0.05$)

Abb. 2

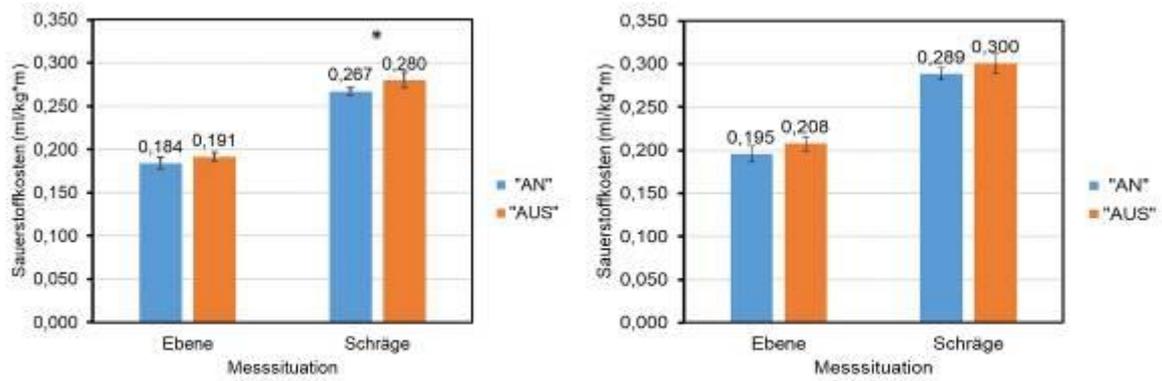


Abb. 2: Mittlere Sauerstoffkosten mit an- und ausgeschaltetem aktiven Antrieb (links: Unterschenkelamputierter, rechts: Oberschenkelamputierter) beim ebenen Gehen und Aufwärtsgehen (5°, *: signifikante Differenz mit $p < 0.05$)

V45

Vergleich von Schaft- und osseointegrierter Versorgung bei Oberschenkelamputierten

B. Welke (Hannover/DE), C. Hurschler (Hannover/DE), M. Örgel (Hannover/DE), H. H. Aschoff (Hannover/DE), E. Jakobowitz (Hannover/DE), M. Schwarze (Hannover/DE)

Fragestellung Die Standardversorgung von Patienten mit einer Oberschenkelamputation ist nach wie vor die konventionelle Schaft-Verankerung. Der Schaft sorgt bei annähernd der Hälfte der Patienten für Probleme beim Tragen, wie Hautreizungen und Druckgeschwüre, insbesondere bei kurzen Stümpfen. Transkutane osseointegrierte Prothesensysteme (TOPS) sind seit nunmehr fast 30 Jahren eine Alternative bei passender Indikation. Ziel der Studie ist es, die Versorgungen hinsichtlich des Gangbilds, der Entstehung von Arthrose im Hüftgelenk und der Patientenzufriedenheit zu vergleichen.

Methoden Eingeschlossen wurden 37 einseitig Oberschenkelamputierte (17 Schaft, 20 TOPS). Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Ganganalyse: Gehen in der Ebene mit selbstgewählter Geschwindigkeit
- MRT der unteren Extremität
- Fragebögen: SF36 und Q-TFA

Ergebnisse In der Sagittalebene gibt es keinen signifikanten Unterschied in den Hüft- und Kniewinkeln (Abb. 1&2). Die radiologische Auswertung der MRT-Aufnahme ergab bei 50% und bei 59% der TOPS- bzw. Schaftversorgten Anzeichen von einer Arthrose im contralateralen Hüftgelenk. Auf der amputierten Seite zeichnete sich eine Arthrose bei 65% der mit Tops- und bei 88% der mit Schaft versorgten Probanden ab.

In keinem Sub- oder Globalscore der Fragebögen wurde ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Lebensqualität, Nutzungsdauer der Prothese, Mobilität und Zufriedenheit gefunden. Für beide Gruppen sind die Werte auf einem hohen Niveau.

Schlussfolgerung Die propagierten Vorteile durch die direkte Ankopplung der Prothese der TOPS-Versorgung gegenüber dem konventionellen Schaft konnte in der Studie nicht gezeigt werden. Mobile Patienten mit einer guten Schaftversorgung sind auf einem ähnlichen hohen Niveau hinsichtlich ihrer Mobilität und Lebensqualität. Dies könnte am Einschluss sehr mobiler Patienten in die Gruppen liegen.

Abb. 1

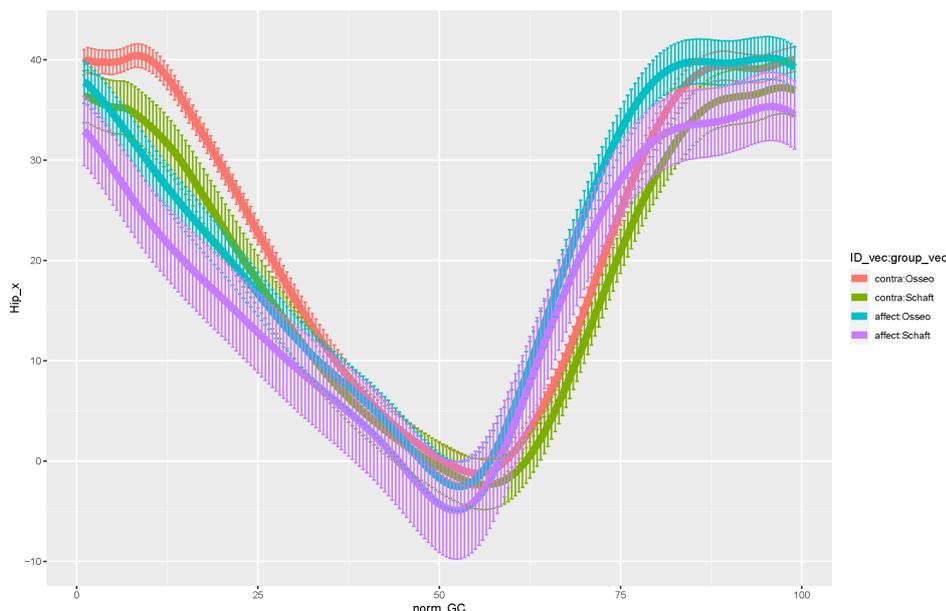


Abb.1: Hüftwinkel in der Sagittalebene über einen Schrittzzyklus

Abb. 2

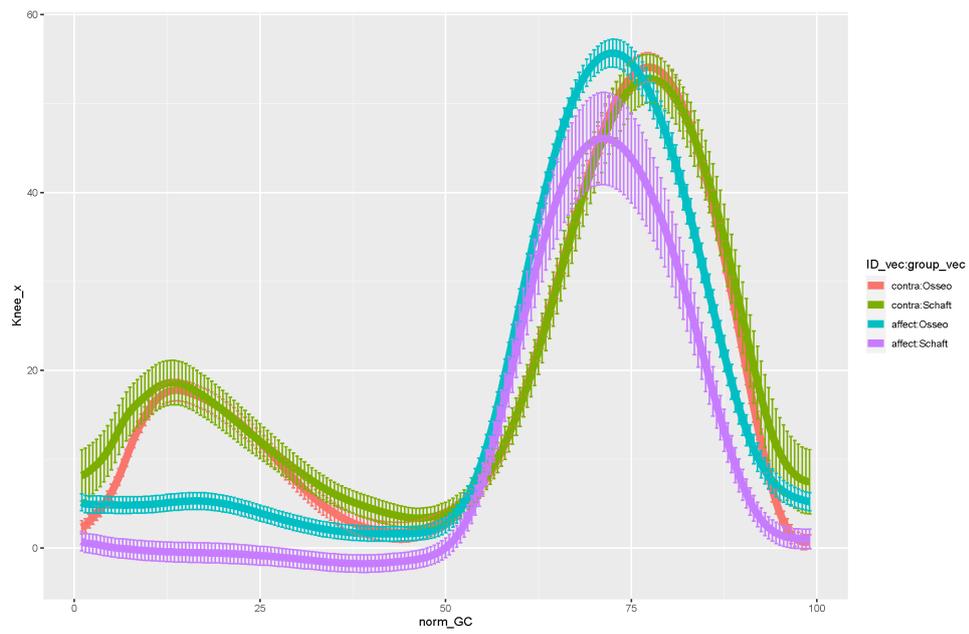


Abb.2: Kniewinkel in der Sagittalebene über einen Schrittzklus

V46

Agreement between x-ray and frontal plane knee alignment in Achondroplasia and patients with idiopathic axial deformity

A. Thamm (Vogtareuth/DE), M. Hösl (Vogtareuth/DE), F. Afifi (Vogtareuth/DE), F. Wagner (München/DE), S. Nader (Vogtareuth/DE)

Fragestellung

Knee malalignments in Achondroplasia (ACH) are commonly assessed with radiographs [1]. In idiopathic deformities (ID), the agreement between the radiological mechanical femurotibial angle (MFTA) and standing gait analysis (3DGA) data is high [2] while poor correlations were reported for ACH [3]. Our aim was to compare malalignments in ACH to ID and investigate if 3DGA can predict the radiological pathology.

Methoden

We included 20 ACH and 23 ID patients (Abb 1) with a standing x-ray and 3DGA within 3 months. From the static 3DGA trial, the frontal plane knee angle (3D MAA) and from the x-ray, the mechanical axis deviation (MAD) and MFTA, were extracted. All x-ray values were compared between ACH and ID. The correlation and error between techniques was determined and compared (Abb 1).

Ergebnisse

Concerning MFTA, the malalignment was more pronounced in ACH for varus knees ($p < .001$, valgus $p = .057$). The MAD was not sign. different between groups, but there was a main effect when normalized to knee width (Abb 1). 3D MAA and MFTA were highly correlated in ACH ($\rho = .88$, $p < .001$) and ID ($r = .82$, $p < .001$) (Abb 2). Comparing MFTA and 3D MAA, the error was sign. larger in varus knees of ACH compared to ID ($p < .001$) but not in valgus knees ($p = .482$). BMI was a confounding factor for the error in ID (ID: $r = .43$, $p = .003$, ACH: $r = .29$, $p = .074$).

Schlussfolgerungen

The relationship between 3DGA and x-ray was strong in ACH [$\neq 3$]. Applying 3DGA during diagnostics could reduce the amount of radiation. Yet, it has to be considered that the error might be larger in ACH than in ID. The error in ID was similar to other reports [2]. We currently investigate if the error in ACH can be reduced by using functional knee axis calibration [4].

Referenzen

1. Pauli; Orphanet J Rare Dis 2019;14:1
2. Stief; G&P 2020;79:26-32
3. Inan; JPO. 2006;26(4):526-9
4. Sangeux; G&P 2018;63:171-176

Abb. 1

	Achondroplasia		Idiopathic Deformity	
	Mean (SD)		Mean (SD)	
Age [years]	11.8±3.2		12.8±2.3	
Height [cm]	112.7±14.8*		158.7±12.4	
BMI [kg/m ²]	23.8±4.9		23.0±5.3	
	Valgus	Varus	Valgus	Varus
N (number of knees)	9	31	35	11
Mechanical axis deviation (MAD) [mm]	-17.2±17.9	16.4±12.5	-9.4±7.1	10.1±8.5
Normalized MAD [% knee width]	34.9±57.2	28.0±21.4 *	13.1±9.1	34.2±11.7
Mechanical femurotibial angle (MFTA) [°]	13.7±14.6	-11.4±8.0 *	4.9±3.1	-3.3±2.8
3D MAA [gait analysis] [°]	14.7±11.2 *	-6.2±7.1 *	8.1±4.9	-1.4±4.2
Abs. Error (MFTA-MAA) [°]	3.8±3.0	5.7±5.9 *	3.0±2.3	2.7±1.2

Abb 1. Patient, x-ray and 3DGA data. *, sign. diff. to ID (p<0.05)

Abb. 2

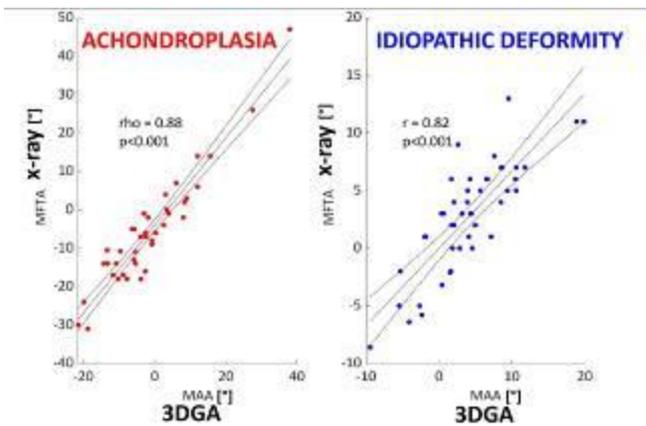


Abb 2. Correlation between x-ray and 3DGA

V47

Can WOMAC Questionnaires Replace Performance-Based Tests in Subjects with Knee Osteoarthritis? Data from the Osteoarthritis Initiative

A. Wisser (Freilassing/DE, Salzburg/AT), S. Maschek (Freilassing/DE, Salzburg/AT), F. Eckstein (Freilassing/DE, Salzburg/AT), W. Wirth (Freilassing/DE, Salzburg/AT)

Questionnaires and functional performance measures (FPMs) are often used in parallel to obtain information on pain and function of participants in osteoarthritis studies. The aim of this study was to investigate 1) if Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) scores for pain, function and stiffness reflect physical function and pain similarly well as the chair stand test (CST), 20m and 400m walk tests (WT) do and 2) which WOMAC items are most sensitive in reflecting FPMs' results.

Publicly available data from the Osteoarthritis Initiative (OAI) cohort study were used. Subjects without hip pain, hip and knee joint replacements, who had WOMAC scores for knee pain/stiffness/function (5/2/17 items; rating: each 0-4 [low-high]) for both knees, as well as complete 5-repetition CST, 20m and 400m WT times available were included. WOMAC scores of the more severely affected knee (target knee) were selected for analyses. Multiple linear regression with backward stepwise elimination was performed to investigate associations between WOMAC scores and FPMs, and items of associated WOMAC scores and FPMs.

In the target knee of 409 subjects (50% women; age (mean±SD) 63±9 years; BMI 29±5kg/m²) all three WOMAC scores were larger than 0. Out of WOMAC pain/function/stiffness scores, only the WOMAC function score was associated with FPMs (Table 1). Analysis of WOMAC function items, showed 4 of these to be significantly associated with the CST, 3 with the 20m WT and 4 with the 400m WT (Table 2).

The WOMAC function score was associated with FPMs and specific WOMAC function items significantly related to FPMs. Yet, all observed associations were weak. A reason may be that WOMAC provides a different perspective on function than FPMs. Thus, the concurrent use of FPMs and WOMAC questionnaires is deemed reasonable.

Tab. 1: Linear model: predictors (WOMAC Scores) of functional performance

Step	CST				20m WT				400m WT			
	WOMAC score	b	SE b	β p	WOMAC score	b	SE b	β p	WOMAC score	b	SE b	β p
1	Constant	10.35	0.36	<.01	Constant	14.82	0.28	<.01	Constant	304.72	5.53	<.01
	Pain	0.00	0.10	.00 .99	Pain	0.05	0.07	.07 .46	Pain	0.99	1.46	.06 .5
	Function	0.08	0.03	.27 <.01	Function	0.02	0.02	.08 .38	Function	0.59	0.43	.12 .17
	Stiffness	-0.17	0.16	-.07 .29	Stiffness	0.06	0.12	.03 .61	Stiffness	-1.33	2.44	-.03 .59
2	Constant	10.35	0.36	<.01	Constant	14.92	0.21	<.01	constant	302.76	4.19	<.01
	Function	0.08	0.02	.27 <.01	Pain	0.06	0.07	.07 .39	Function	0.82	1.43	.05 .57
	Stiffness	-0.17	0.16	-.07 .28	Function	0.02	0.02	.09 .29	Stiffness	0.53	0.41	.11 .2
3	Constant	10.08	0.25	<.01	Constant	14.99	0.20	<.01	Constant	303.65	3.89	<.01
	Function	0.07	0.02	.22 <.01	Function	0.04	0.01	.15 <.01	Function	0.72	0.23	.15 <.01

Step 1 R² (CST/ 20m WT/ 400m WT) = .053/ .026/ .024; Step 2 R² = .053/ .025/ .024; Step 3 R²= .050/ .023/ .023

Tab. 2: Linear model: predictors (WOMAC Items) of functional performance

FPM	WOMAC Function Items	b	SE b	β	p
CST	constant	9.80	0.31		<.01
	3: Stand from sitting	0.68	0.31	.16	.03
	4: Standing	0.67	0.37	.15	.07
	7: In car/out of car	0.53	0.32	.13	0.1
	8: Shopping	-1.17	0.41	-.27	<.01
	12: Lying down	-0.75	0.31	-.16	0.01
	17: Light chores	1.06	0.42	.23	0.01
<i>R</i> ² = .121					
20m WT	constant	15.33	0.25		<.01
	3: Stand from sitting	0.50	0.22	.15	.02
	5: Bending	-0.48	0.17	-.19	.01
	12: Lying down	0.58	0.22	.17	.01
<i>R</i> ² = .053					
400m WT	constant	307.80	4.86		<.01
	3: Stand from sitting	11.04	4.46	.18	.01
	5: Bending	-10.26	3.46	-.21	<.01
	8: Shopping	12.14	5.31	.19	.02
	9: Socks on	16.64	8.59	.23	.05
	11: Socks off	-21.27	8.19	-.30	.01
<i>R</i> ² = .07					
<i>Note: FPM = functional performance measure; WT = walk test</i>					

V48

Unterscheidet sich die prä-operative Kraft nach primärer und sekundärer VKB-Ruptur im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe?

M. Mauch (Muttentz/CH), R. Ritzmann (Freiburg i. Br./DE), A. Heitner (Muttentz/CH), J. Paul (Muttentz/CH), C. Centner (Muttentz/CH, Freiburg i. Br./DE)

Fragestellung: Trotz evidenzbasierter Rehabilitationsprotokolle nach primärer VKB-Ruptur liegt die Re-Ruptur-Rate nach operativer Rekonstruktion bei 29,5 % (1). Mehrere Studien haben gezeigt, dass die prä-operative Kraft vor einer primären VKB-Rekonstruktion prädiktiv für den funktionellen Outcome ist (2). Allerdings ist die derzeitige Studienlage bei Patienten mit VKB Re-Ruptur unklar. Ziel dieser Studie war es, die prä-operativen Kraftunterschiede der Kniestrecker und -beuger bei Patienten vor primärer und sekundärer VKB-Rekonstruktion im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen zu untersuchen.

Methoden: In einer Querschnittstudie wurden insgesamt $n = 69$ alters-, gewichts- und geschlechts-gematchte Personen eingeschlossen: $n = 23$ Patienten mit isolierter primärer VKB-Verletzung, $n = 23$ mit sekundärer VKB-Verletzung und $n = 23$ gesunde Kontrollpersonen. Das maximale isokinetische Kniestrecker- und -beugerdrehmoment wurde für beide Beine gemessen.

Ergebnisse: Beide Patientengruppen unterscheiden sich signifikant in der prä-operativen Kraft sowohl auf der verletzten als auch auf der nicht-verletzten Seite zur gesunden Kontrollgruppe ($p < 0.01$). Dagegen unterscheiden sich primäre und sekundäre VKB-Rupturen lediglich in der Extension auf der verletzten Seite ($p < 0.05$) voneinander, nicht jedoch für die Flexion ($p = 0.14$) und die nicht-verletzte Seite (Extension: $p = 0.85$; Flexion: $p = 0.942$).

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse zeigen für beide Patientengruppen ausgeprägte Kraftdefizite im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe. Es wird vermutet, dass die reduzierte Gelenkstabilisierung eine Verletzung mitbegünstigen könnte. Dies sollte unter Mitberücksichtigung der neuromuskulären Funktion in weiterführenden prospektiven Studien untersucht werden.

Referenzen

1. Paterno MV et al., Am J Sports Med. 2010;38(10):1968-78.
2. Eitzen I et al., Br J Sports Med. 2009;43(5):371-6.

V49

Trainingstherapie führt nicht zur Reduktion von Asymmetrien bei Patienten mit chronischer unilateraler Achillessehnen-Tendinopathie

K. Legerlotz (Berlin/DE), G. Radovanović (Berlin/DE, Hamburg/DE)

Fragestellung

Beinasymmetrien können mit einem größeren Verletzungsrisiko assoziiert sowie Folge von Verletzungen sein. Ein Ziel präventiver und rehabilitativer Maßnahmen ist diese Asymmetrien zu verringern. An Patienten mit chronischer unilateraler Achillestendinopathie untersuchten wir, wie sich das symptomatische vom asymptomatischen Bein hinsichtlich funktionaler, morphologischer und mechanischer Merkmale unterscheidet, wie sich trainingstherapeutische Maßnahmen auf diese Asymmetrien auswirken und ob die Verringerung der Asymmetrie mit einer Verbesserung der Funktionalität einhergeht.

Methoden

Bei Patienten (n=41) mit chronischer unilateraler Achillestendinopathie wurden Muskel- und Sehneigenschaften sowie Funktionalität beider Beine mittels Ultraschall, Doppler-Ultraschall, Dynamometrie, MRT-Aufnahmen, Vertikalsprüngen auf Kraftmessplatten und Funktionalitäts-Fragebogen (VISA-A score) erfasst und der absolute Asymmetrie-Index (AAI) wurde berechnet. Nach 12-wöchiger trainingstherapeutischer Intervention (n=24) wurden die Messungen wiederholt und die AAI Veränderungen mit der VISA-A Veränderung korreliert.

Ergebnisse

Die symptomatische Sehne zeichnete sich durch eine signifikant niedrigere Kraft, einen größeren Querschnitt, eine geringere Spannung und eine größere Vaskularisierung aus (Tab. 1). Die AAI POST unterschied sich nicht signifikant von der AAI PRE Trainingstherapie. Der Anstieg im VISA-A score (21.1±16.5 Punkte) korrelierte nicht mit Veränderungen im AAI.

Schlussfolgerungen

Während sich Achilles-Tendinopathie assoziierte Bein-Asymmetrien in mehreren Parametern zeigen, ist, scheint eine trainingstherapeutische Intervention diese Asymmetrien nicht zu reduzieren, gleichwohl sich die Funktionalität verbessert.

Tabelle 1: Vergleich zwischen symptomatischem und asymptomatischem Bein sowie absoluter Asymmetrie-Index (AAI) vor (PRE) und nach (POST) Intervention

Parameter	Asymptomatisch PRE (n = 41)	Symptomatisch PRE (n = 41)	r	AAI PRE (n = 41) [%]	AAI POST (n = 24) [%]
Moment (MVC) [Nm]	239.61 ± 44.30	239.41 ± 41.65	0.729*	9.71 ± 8.77	8.74 ± 6.45
Sehnenkraft [N]	3642.90 ± 824.51	3411.42 ± 759.79*	0.715*	14.91 ± 11.99	17.66 ± 13.68
Muskelfaser-Länge [mm]	73.66 ± 11.51	74.45 ± 11.44	0.769*	9.07 ± 5.64	9.29 ± 4.51
Fiederungswinkel [°]	16.41 ± 2.45	16.15 ± 2.00	0.488*	11.86 ± 8.66	10.81 ± 12.57
Muskeldicke [mm]	18.84 ± 2.91	18.90 ± 3.18	0.542*	11.55 ± 11.52	10.91 ± 9.94
Ruhelänge [mm]	198.81 ± 21.13	198.69 ± 24.02	0.568*	8.06 ± 5.99	6.15 ± 5.66
Verformung [mm]	12.29 ± 2.72	12.04 ± 3.39	0.454*	21.29 ± 20.22	21.07 ± 18.22
Steifigkeit [N/mm]	358.46 ± 123.05	378.50 ± 112.59	0.074	32.35 ± 27.22	44.32 ± 43.69
Dehnung [%]	6.22 ± 1.42	6.07 ± 1.75	0.425*	22.60 ± 19.24	22.77 ± 17.56
Querschnittsfläche [mm ²]	0.76 ± 0.19	0.87 ± 0.28*	0.798*	14.89 ± 14.19	17.55 ± 16.94
E-Modul [GPa]	0.99 ± 0.38	0.92 ± 0.34	0.358*	34.58 ± 26.34	38.26 ± 30.94
Spannung [MPa]	50.10 ± 16.94	42.17 ± 16.18*	0.826*	23.83 ± 17.25	26.17 ± 21.22
Vaskularisierung intra-tendinos [mm ²]	1.51 ± 3.26	5.15 ± 11.15*	0.213	90.70 ± 94.86	104.14 ± 88.61
Vaskularisierung gesamt [mm ²]	10.75 ± 8.80	16.74 ± 16.21*	0.292	84.94 ± 60.35	87.45 ± 64.17
CMJ (Impuls) [%]	52.33 ± 7.68	47.66 ± 7.68	-	27.41 ± 16.19	30.03 ± 20.10
DJ (Impuls) [%]	52.13 ± 11.50	47.86 ± 11.50	-	33.24 ± 32.53	28.35 ± 24.20

Mittelwerte ± Standardabweichung; * signifikanter Unterschied zum asymptomatischen Bein (p < 0.05); # signifikante Korrelation (Pearson); AAI = absoluter Asymmetrie Index; MVC = maximal willkürliche Kraft der Plantar-Flexoren; % Impuls = relativer Beitrag am Gesamtimpuls; CMJ = counter movement jump; DJ = drop jump.

Session 8 • Sportbiomechanik I

V50

Weitsprung mit und ohne Unterschenkelprothese – gleiche Sportart, unterschiedliche Disziplinen

J. Funken (Köln/DE), S. Willwacher (Offenburg/DE), W. Potthast (Köln/DE)

Der beste Weitspringer mit Unterschenkelprothese erzielt Sprungweiten, die mit denen von nicht-amputierten Spitzenathleten vergleichbar sind oder diese sogar übertreffen. Sein bislang weitester Sprung aus dem Jahr 2021 über 8,62 m hätte gereicht, um bei allen bis auf zwei ("88 & "92) Olympischen Spielen die Goldmedaille zu gewinnen. Es ist daher wenig verwunderlich, dass Diskussion um die Frage, ob Athleten mit Unterschenkelprothese in einer Wertung mit nicht-amputierten Athleten starten sollten bzw. dürfen, weiter anhalten. Die Biomechanik kann hier einen wichtigen Beitrag zur differenzierten Beantwortung leisten.

Unsere Analysen zeigen, dass einseitig transtibial amputierte Athleten, die ihre Prothese für den Absprung nutzen, langsamer anlaufen, aber effizienter abspringen als nicht-amputierte Athleten – bei vergleichbarer Sprungweite[1]. Während nicht-amputierte Athleten ihr Absprungsbein als möglichst rigiden Hebel nutzen, um horizontale Anlaufgeschwindigkeit in vertikale und horizontale Abfluggeschwindigkeit umzuwandeln, nutzen Athleten mit Unterschenkelamputation ihre Prothese während des Absprungs wie ein Sprungbrett zur Energiespeicherung und -rückgabe[2]. Wir konnten weiterhin zeigen, dass Athleten mit Unterschenkelprothese nicht die Bewegungsstrategie wählen können, die nicht-amputierte Athleten nutzen – *et vice versa*[1-3]. Die beobachteten, grundlegenden, Unterschiede in den Bewegungsmechanismen sind also keineswegs individuelle Technikmerkmale, sondern die Folge von physiologischen Grenzen des biologischen Beins[1] bzw. mechanischen Limitationen der Karbonprothese[2,3].

Erst die gemeinschaftliche Betrachtung der o.g. biomechanischen Analysen lässt den folgenden Transfer für mögliche Regelwerkentscheidungen zu: Weitsprung mit und ohne Unterschenkelprothese – gleiche Sportart, unterschiedliche Disziplinen.

[1] Willwacher (2017) *Sci Rep* 7

[2] Funken (2019) *Roy Soc Open Sci* 6

[3] Funken (2019) *Med Sci Sport Exer* 51

V51

Wie verändern sich Kraft- und Beweglichkeitsparameter nach fünfwöchigem exzentrischen Krafttraining?

S. Vetter (Leipzig/DE), H. P. Köhler (Leipzig/DE), A. Schleichardt (Leipzig/DE), S. Schleifenbaum (Leipzig/DE), S. Kiem (Leipzig/DE), P. Hepp (Leipzig/DE), M. Witt (Leipzig/DE), C. Roth (Leipzig/DE)

In Wurfsporarten führen große Bewegungsamplituden und repetitive Belastungen zu einer erhöhten Verletzungsanfälligkeit der Schulter (Baltaci et al., 2004). Begründet wird dies mit Kraft- und Beweglichkeitsdefiziten (Doyscher et al., 2014). Ein möglicher Lösungsansatz ist das exzentrische Training, welches für die Schulter weitestgehend unerforscht ist (Zandt et al., 2010). Ziel dieser Studie war es die Beweglichkeit und Kraft der verletzungsgefährdeten Außenrotatoren der Schulter durch exzentrisches Training zu beeinflussen, um Präventionsstrategien ableiten zu können.

19 männliche Sportstudenten nahmen an der fünfwöchigen exzentrischen Trainingsstudie teil (IG: $n = 16$, 23 ± 4 Jahre; KG: $n = 3$, 24 ± 1 Jahre). Das isokinetische Training wurde 2x/Woche am PrimusRS durchgeführt. Die funktionellen Prä-Post-Tests wurden mit dem ISOMED2000 absolviert. Über bildgebende Verfahren (MRT, DTI) wurden strukturelle Veränderungen erfasst.

Erste Ergebnisse der IG weisen auf eine signifikante Abnahme der passiven Beweglichkeit hin ($p=.021$). Eine Kraftzunahme zeigt sich sowohl in Konzentrik ($p=.015$) als auch Exzentrik ($p<.001$). Die Traktographie ergibt eine signifikante Verlängerung der Faszikel ($p<.001$). In der KG zeigen sich keine Veränderungen (ROM: $p=.090$; Konzentrik: $p=.173$, Exzentrik: $p=.296$, Faszikellänge: $p=.478$). Damit konnte in diesem Kontext erstmalig gezeigt werden, dass auch im Bereich der oberen Extremität eine Faszikelverlängerung möglich ist.

Die statistische Auswertung deutet primär auf positive Krafteffekte hin, weniger auf eine erwartete Beweglichkeitszunahme. Dennoch berichteten die Probanden von einem verbesserten Beweglichkeits- und Kraftgefühl. Durch die Verlängerung der Faszikel ist von einem erhöhten Beweglichkeitspotenzial der Muskulatur auszugehen. Im Vergleich zur unteren Extremität (Vetter et al., 2022) bleibt weiterhin anzunehmen, dass die Schulter eine geringere Response auf das exzentrische Training aufweist (Zandt et al., 2010).

V52

Durch Tragen des Kraftdreikampfgürtels während Kniebeugen steigen Leistung und subjektives Stabilitätsgefühl nicht aber objektiv erfasste posturale Stabilität

F. Veltzke (Berlin/DE), E. Bey (Berlin/DE), K. Legerlotz (Berlin/DE)

Fragestellung

Kraftdreikampfgürtel sind ein im Kraftsport häufig eingesetztes Hilfsmittel, das subjektiv das Stabilitätsgefühl erhöhen kann und die sportliche Leistung steigern soll. Die Effekte auf die sportliche Leistung sowie die Mechanismen hinter der Leistungssteigerung sind jedoch schlecht untersucht. Belegt ist insbesondere bei Männern, dass durch Tragen des Gurtes Bewegungsgeschwindigkeiten und intraabdomineller Druck steigen. Ob die posturale Stabilität durch Tragen des Gurtes tatsächlich objektiv erhöht ist, und ob die Effekte vom Geschlecht oder der Erfahrung mit der Gurtanwendung abhängen, soll diese Studie klären.

Methoden

29 Männer (182±7cm; 88±10kg) und 20 Frauen (168±6cm; 66±6kg) haben an zwei Messterminen zwei Sätze Kniebeugen mit dem gürtellosen 6RM in randomisierter Reihenfolge mit (mG) und ohne Gurt (oG) bis zur Erschöpfung auf Kraftmessplatten ausgeführt. 26 Personen waren erfahren in der Gurtanwendung, 23 waren unerfahren. Anzahl und Dauer der Wiederholungen, Schwankungsfläche und Pfadlänge sowie das subjektive Stabilitätsgefühl wurden zwischen den Bedingungen verglichen.

Ergebnisse

Mit Einsatz des Gurtes stieg unabhängig von Geschlecht oder Gurt-Vorerfahrung die Anzahl Wiederholungen (mG 8,1±1,7; oG 6,5±1,3, $p<0.001$), während die Dauer der Wiederholungen abnahm (mG 3,58±0,41s; oG 3,72±0,40s, $p<0.001$). Durch Tragen des Gurtes erhöhte sich die posturale Stabilität zwar subjektiv nicht aber objektiv. Die auf Bewegungsdauer normalisierte Pfadlänge war bei Erfahrenen und die Schwankungsfläche bei Männern signifikant erhöht ($p<0.05$)(Abb. 1).

Schlussfolgerungen

Die Nutzung eines Gurtes führte unabhängig von der Vorerfahrung sowohl bei Männern als auch bei Frauen zu einer Steigerung der Leistungsfähigkeit in der Kniebeuge, die aber nicht auf eine Steigerung der posturalen Stabilität zurückgeführt werden kann.

Abb. 1

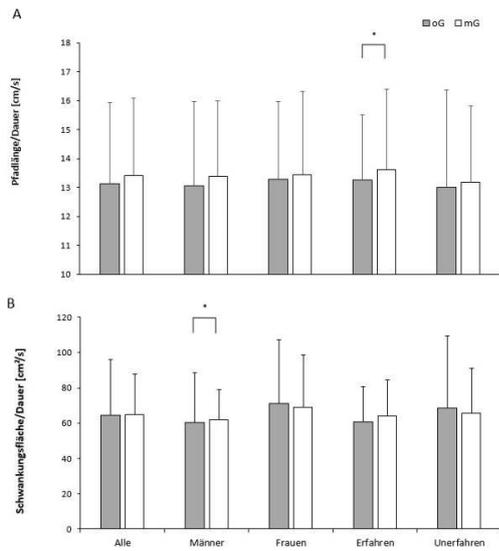


Abbildung 1: Effekte des Gurtes auf posturale Stabilität: A) Pfadlänge/Dauer B) Schwankungsfläche/Dauer; *=signifikanter Unterschied

V53

Einfluss des Energietransfers auf die Gelenkbelastung der oberen Extremität und die Abwurfgeschwindigkeit im Speerwurf der Männer

H. P. Köhler (Leipzig/DE), M. Witt (Leipzig/DE)

Die Wurfweite im Speerwurf ist vor allem von der Abwurfgeschwindigkeit und somit der zum Speer transferierten Energie abhängig (Bartonietz, 2000). Obwohl in der speerwurfspezifischen Literatur (ebenda; Killing, 2011) häufig die Begriffe Energietransfer und -übertragung verwendet werden, liegen bisher noch keine Untersuchungen vor, die dies quantifizieren. Das Ziel der Studie war es daher, die Anteile der Übertragung und des Eintrages mechanischer Energie innerhalb der oberen Extremitäten zu untersuchen und den Zusammenhang zur sportlichen Leistung und der Gelenkbelastung herzustellen.

Von 10 Speerwerfern wurde die Kinematik des Wurfarms mit Hilfe eines Infrarotmesssystems erfasst und durch ein Modell die mechanische Leistung an den Gelenken (Wasserberger, 2021) berechnet. Mit Hilfe einer schrittweisen multiplen linearen Regression wurden die Variablen bestimmt, die die Gelenkbelastung und die Abwurfgeschwindigkeit am besten vorhersagen.

Die Ergebnisse in der Tabelle zeigen, dass das Schultergelenk das letzte Gelenk ist, dass aktiv Energie in die kinematische Kette einträgt. Weiterhin kann gezeigt werden, dass eine Erhöhung der Abwurfgeschwindigkeit regelhaft mit einer Steigerung des Energieeintrags und der Erhöhung der Gelenkmomente einhergeht. Jedoch ist die Steigerung des Energieeintrages mit einer fast doppelt so großen Steigerung der Gelenkbelastung im Vergleich zum Energietransfer verbunden, wobei ein geringerer Effekt für die Abwurfgeschwindigkeit entsteht. Daraus leitet sich die Überlegung ab, den Anteil des Energietransfers zu vergrößern.

Die vorliegenden Daten negieren auch bisherige Annahmen, wonach mit dem Ellbogen noch ein aktiver Beitrag zum Vortrieb des Speeres geleistet wird. Vielmehr zeigt sich, dass der Transfer mechanischer Energie ein leistungsentscheidender Faktor ist, der gleichzeitig auch einen Beitrag zur Verringerung der Gelenkbelastung leisten und somit Verletzungen vorbeugen kann.

Tab. 1

Tab. Best-fit multiple lineare Regressionsmodelle zur Vorhersage der Abwurfgeschwindigkeit, der Schulterbelastung (Innenrotationsmoment) und der Ellenbogenbelastung (Varusmoment) aus den unterschiedlichen Leistungen der verschiedenen Gelenke des Wurfarms.

	Abwurfgeschwindigkeit			Innenrotationsmoment			Varusmoment			
	B	95% CI		B	95% CI		B	95% CI		
Intercept	14.96	11.17	18.76	-0.070	-0.641	0.501	-0.074	-0.656	0.508	
Schultergelenk	P _T	0.128	0.071	0.185	0.010	0.001	0.019	0.010	0.000	0.019
	P _G	0.075	-0.056	0.205	0.018	-0.002	0.039	0.019	-0.002	0.040
Handgelenk	P _A	-0.189	-0.482	0.104						
Modellstatistik	adj. R ² = .791; F _{3,6} = 12.38;			adj. R ² = .505; F _{2,7} = 5.59;			adj. R ² = .495; F _{2,7} = 5.41;			
	p = .005;			p = .036;			p = .038;			
	AICc = 35.47			AICc = -12.00			AICc = -11.61			

B - unstandardisierter Regressionskoeffizient; 95% CI - 95% Konfidenzintervall; P_T - maximale Rate des Energietransfers; P_G - maximale Rate des Energieeintrages; P_A - maximale Rate der Energieabsorption; adj. R² - korrigierter Determinationskoeffizient; F - F-Statistik; p - Signifikanzlevel; AICc - korrigiertes Akaike Informationskriterium

Impact of running slope and speed on biomechanical risk factors associated with Achilles tendinopathy

M. Kurz (Östersund/SE), P. Mai (Offenburg/DE, Köln/DE), L. Robertz (Köln/DE), K. Bill (Köln/DE), M. Hipper (Offenburg/DE), U. Kersting (Köln/DE), W. Potthast (Köln/DE), S. Willwacher (Offenburg/DE)

Purpose: The influence of environmental factors (e.g., surface incline and running speed) are often neglected in laboratory injury risk screening assessments. Therefore, the study aims to identify if environmental factors affect biomechanical risk factors (BRFs) associated with Achilles tendinopathy (AT) at different slopes and running speeds.

Background: A recent review article shows that in running a higher ankle inversion at touchdown (InvTD) and ankle eversion range of motion (EROM) during the stance phase are associated with the increased risk of suffering from AT [1]. However, running solely on even terrain at a steady pace is hardly transferable to real world applications.

Methods: 23 injury free runners run (30 s) at speeds of 2.5, 3 and 3.5 m/s and at slopes of 0%, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, and $\pm 15\%$. InvTD and EROM from the 3D motion capturing data were statistically analyzed with two-way rANOVAs (slope*speed).

Results: InvTD ($p=.01$; $\eta_p^2=.145$) and EROM ($p=.002$; $\eta_p^2=.163$) showed a significant interaction effect (slope*speed). η_p^2 showed that the analyzed BRFs were affected differently from slope (InvTD: $\eta_p^2=.723$; EROM: $\eta_p^2=.614$) and speed (InvTD: $\eta_p^2=.628$; EROM: $\eta_p^2=.758$).

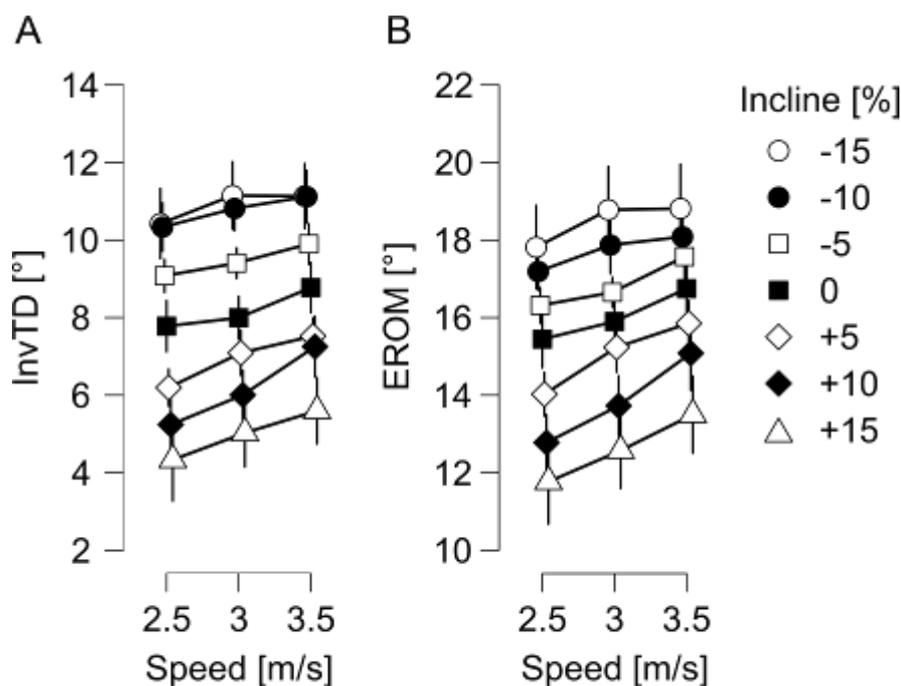


Fig1: (A) Ankle inversion at touchdown; (B) Ankle eversion range of motion during stance phase for all speeds and slopes.

Conclusion: Both BRFs associated with AT were affected by speed and slope. Downhill running and faster speeds showed in general higher values compared to uphill and slower running speeds (Fig1). Route choice and a terrain adapted speed could be implemented as a fairly easy method to reduce the risk for overuse running injuries.

Reference: [1] Willwacher, S., Kurz, M., Robbin, J. et al. Running-Related Biomechanical Risk Factors for Overuse Injuries in Distance Runners: A Systematic Review Considering Injury Specificity and the Potentials for Future Research. Sports Med (2022).

V55

Concentric not eccentric cycling sprint intervals acutely impair balance and jump performance in healthy active young adults: A randomized controlled cross-over study⁴

L. Rappelt (Köln/DE), S. Held (Köln/DE), L. Donath (Köln/DE)

High-intensity running or cycling can transiently impair postural control. However, the acute effects of modified sprint interval training (mSIT) at different muscle working modes have not yet been examined. Thus, this study aimed at investigating acute effects of a time-matched eccentric (ECC) versus concentric mSIT cycling session (CON) on jumping and functional balance performance. N = 25 active males (30 ± 6 yrs; VO_2max : 64.2 ± 7.9 ml·kg⁻¹·min⁻¹) were enrolled in this acute randomized controlled crossover trial. Counter-Movement-Jump (CMJ) and functional balance testing (Y-Balance-Test composite score [YBT_{CS}]; Posturomed total distance: Posturomed_{TD}) were assessed before, and immediately after cessation of ECC and CON (10×10s maximum sprints, 50s active recovery). Significant mode × time interaction effects for CMJ ($p = 0.005$, $\eta_p^2 = 0.29$) and YBT_{CS} ($p = 0.015$, $\eta_p^2 = 0.22$) were observed. Post-hoc testing revealed significant reductions in jumping height ($-10.7 \pm 17.0\%$; $p = 0.004$, SMD = 0.59) and YBT_{CS} after CON ($-1.9 \pm 3.4\%$; $p = 0.009$, SMD = 0.28), but not ECC ($+1.0 \pm 7.4\%$, $p = 0.650$, SMD = -0.03 and $-0.4 \pm 2.3\%$, $p = 0.330$, SMD = 0.06, respectively). Posturomed_{TD} ($p = 0.029$, $\eta_p^2 = 0.18$) did not reveal relevant pre-post differences, neither for ECC ($-1.72 \pm 21.4\%$; $p = 0.383$, SMD = 0.17) nor CON ($+10.6 \pm 19.3\%$; $p = 0.073$, SMD = -0.22). Both functional balance and jumping performance are deteriorated after acute concentric but not eccentric mSIT cycling. Although higher pedal forces during ECC were observed, it seems that the cardiocirculatory demanding CON session elicited more pronounced balance and jump performance impairments compared to the eccentric muscle working mode.

1. Rappelt, L., Held, S. & Donath, L. Concentric not eccentric cycling sprint intervals acutely impair balance and jump performance in healthy active young adults: A randomized controlled cross-over study. *Gait Posture* **90**, 55–60 (2021).

V56

Objective and subjective effects of individualized therapy after ankle inversion trauma

R. Dubbeldam (Münster/DE), Y. Y. Lee (Münster/DE), L. Fennen (Münster/DE), A. Milstrey (Münster/DE), S. Ochman (Münster/DE), H. Wagner (Münster/DE)

Ankle inversion trauma may have severe consequences as 40-70% of patients develop chronic impairments¹. While training has been shown to reduce the recurrence rate after ankle trauma, therapy in general does not seem to influence the development of chronic ankle instability². Also, there is no consensus on training content and duration³. Since patients show a variety of impairments in function and activity after ankle inversion trauma⁴, the aim of this study is to offer patients individualized therapy and evaluate their rehabilitation.

Ten patients (26 ± 6 years) with chronic or acute ankle instability after ankle inversion trauma were evaluated during a 3-months period. The patients received individualized therapy focusing on e.g., muscle strengthening and coordination. One-limb stance performance was recorded for 60 seconds with eyes-open and eyes-closed using Qualisys motion analysis system and assessed objectively by means of Centre of Pressure (CoP) parameters. The Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) and Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT) monitored daily life performance subjectively. Objective and subjective assessments were made in weeks 0, 3, 6 and 12 and evaluated with paired t-tests.

The COP standard deviation (SD) in anterior-posterior (AP) direction was significantly larger for the impaired foot compared to the non-impaired foot and reduced over time (fig. 1). The COP-SD in medial-lateral (ML) direction and cumulative CoP in ML direction tended to be larger for the impaired foot too. The patient-reported outcome measures showed a significant reduction in daily (FAAM A) and sports (FAAM B) impairments (fig. 2) and ankle instability (CAIT).

Already after 3 weeks, effects of individualized therapy were present in objective and subjective measures and patient impairments were significantly reduced in the following weeks.

References

1. Vuurberg, 2018. *Br. J. Spo Med*
2. Doherty, 2016. *Am J Spo*
3. Bleakley, 2019 *Arch Phy Med Rehab*
4. Hertel, 2019 *J Athl*

Abb. 1

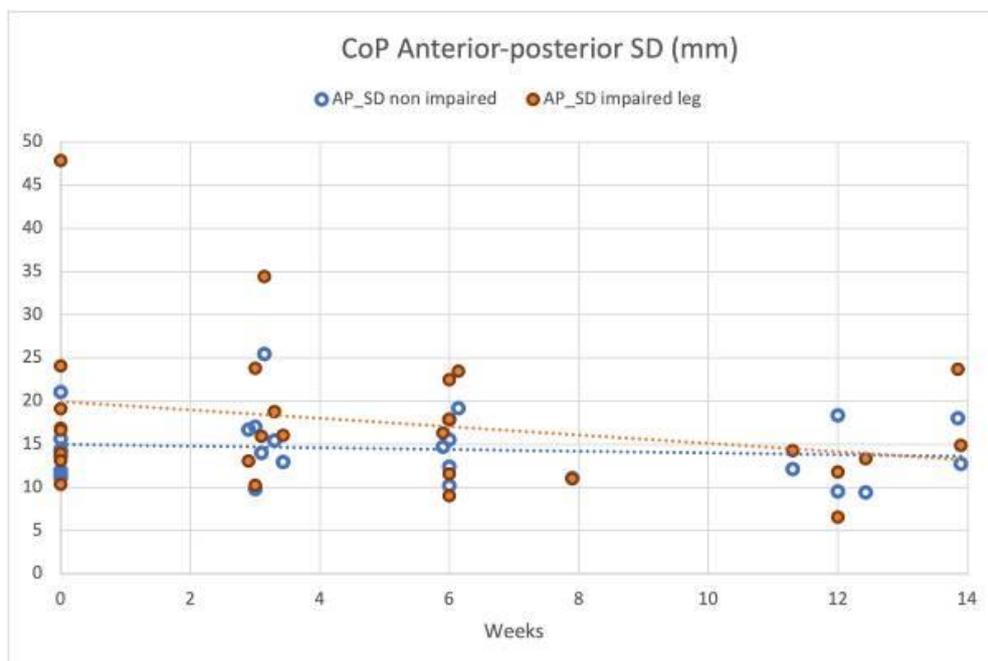
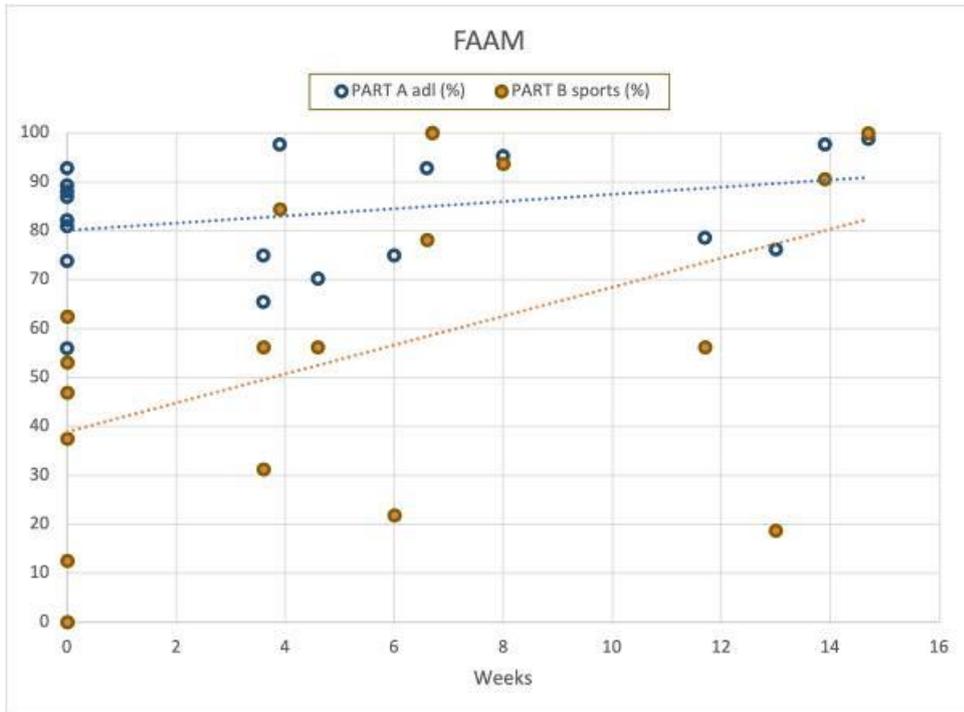


Abb. 2



Session 9 • Computational Functional Anatomy

V57

Hip joint centre location in a pediatric population aged 12 to 16years: CT imaging-based ground truth data and evaluation of 3 common regression equations

Z. Guan (Southampton/GB), M. Kim (Suwon/KR), M. Heller (Southampton/GB)

Precise estimates of the hip joint centre (HJC) are critical in studies using lower limb kinematics and kinetics as readouts. In pediatric populations, the HJC is often estimated from regression equations due to their ease of use and potential to offer adequate precision in such readouts. However, the data basis on which such regressions are established remains limited, and information about the HJC for the age group of 11 to 16 years remains scarce. The current study obtained 3D HJC location data for that age group and evaluated published regression models in that subpopulation.

We used a convenience data set of 56 subjects derived from publically available 3D CT imaging data of a pediatric population (Fig 1). Surfaces of the bilateral femora were available from expert annotation and were used to identify HJC locations with an iterative least-squares fit. Pelvic bone surfaces were obtained by deep-learning-based segmentation and used to identify the left and right anterior superior iliac spines (ASIS), pubic tubercles (PT), and the posterior superior iliac spines (PSIS). From the landmarks, the inter-ASIS (IA) distance or pelvic width (PW), as well as pelvic depth (PD), were determined. We provide descriptive statistics (mean, SD) for the 3D locations of the right HJC in a pelvic coordinate system, report their relation to PW, and report HJC prediction errors for 3 common single parameter regression equations (Harrington (HA), Bell (BE), Orthotrack (OT)).

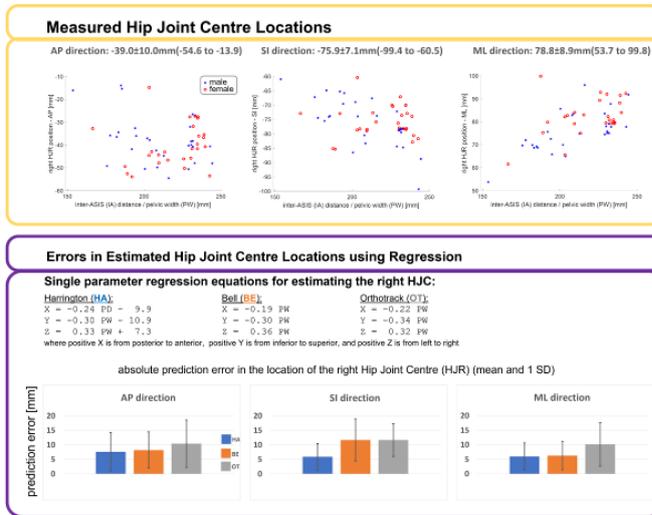
Mean absolute errors were the smallest for the single parameter equations proposed by HA, although the BE model performed similarly in AP and ML directions (Fig 2) while using IA as a predictor for the AP location, a measure possibly more precise than PD used by HA. Maximum absolute error magnitudes of 25 (AP) to 31mm (ML) even with the best regression model suggest that carefully applied functional methods to estimate the HJC may present an alternative to regressions if such error magnitudes are not acceptable.

Tab. 1

Table 1: Essential subject demographics and key morphological parameters

number of subjects	56 (27 females, 29 males)
age [years]	13.8 ± 1.5 (12.0 – 16.0)
height [cm]	157.0 ± 13.1 (112.9 – 179.9)
inter-ASIS (IA) distance, or PW [mm]	214.5 ± 22.4 (153.7 – 244.4)
pelvic depth (PD) [mm]	145.3 ± 16.1 (83.1 – 168.7)

Abb. 2



V58

On the development of a three dimensional statistical shape model of the human mandible

K. Richthofer (Berlin/DE, München/DE), G. Biesso (Berlin/DE), V. Orassi (Berlin/DE), Ö. Cebeci (Berlin/DE), S. Checa (Berlin/DE)

Question

In silico models have been developed to investigate the influence of fixation systems on the biomechanics of reconstructed mandibles [e.g. Orassi et al., 2021]. These studies have the potential to be integrated into pre-operative surgical plans to improve the bone healing outcome. However, the development of patient-specific computer models is time-consuming, making them unsuitable for clinical applications. Therefore, the present project aims to develop a statistical shape model (SSM) to automatize the modelling procedure.

Methods

A dataset of computed tomography scans of healthy mandibles was acquired from the New Mexico Decedents Image Database [<https://nmdid.unm.edu>]. A segmentation process allowed to derive the external surfaces of the mandibles. From these, surface meshes were created and manually adjusted. Subsequently, one mandible was chosen as a reference mesh (source) for the morphing process. Through a surface registration, the nodes of the source mandible mesh were morphed to fit the nodes on the target surface.

Results

The morphed source mesh fits satisfactorily to the target with a mean Hausdorff distance of 0,119 mm, which is below the resolution of the used scans [Fig.1]. The morphed mesh fulfills chosen thresholds in aspect ratio and tetrahedral quality and the anatomical consistency with the source mesh was checked at anatomical landmarks.

Conclusion

In this study, a pool of morphed mandibles was generated, by creating superficial meshes having the same nodal structure while representing different geometries. Future studies will use principal component analysis to compare the meshes nodal coordinates and their variability to train a SSM of the mandible. The principle components can then be adjusted to obtain a patient-specific model.

Acknowledgements

This study was funded by the German Research Foundation (Deutsche Forschungsgemeinschaft CH 1123/10-1).

Abb. 1

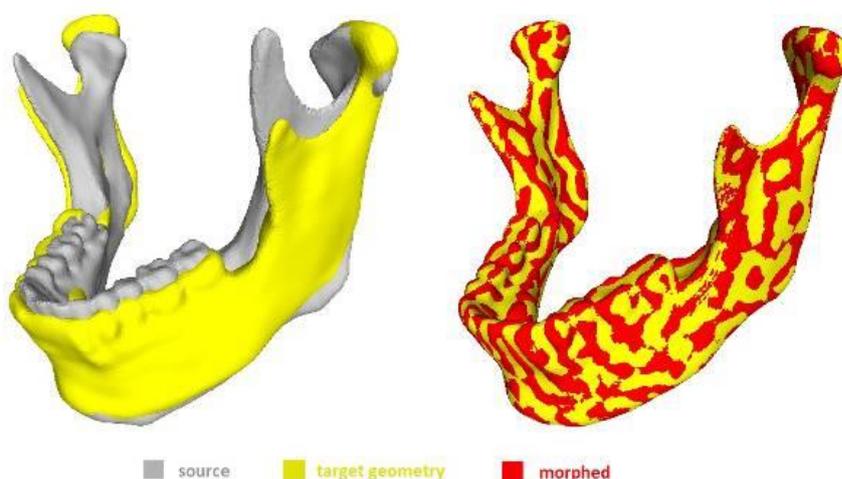


Fig. 1: Comparison between source mesh before (left) and after morphing (right).

V59

Pilot study: MRI-based shape analysis of thigh muscles for strength training monitoring

M. Blum (Magglingen/CH), B. Achermann (Magglingen/CH), S. Lorenzetti (Magglingen/CH), K. Oberhofer (Magglingen/CH)

Computational models of the musculoskeletal system have provided new insights into strength training to advance training guidelines. Yet, musculoskeletal models in sports biomechanics often represent muscle structures as 1D-line segments that are crudely scaled to individual athletes. This is problematic, especially when investigating functional gains due to muscle hypertrophy following strength training. The goal of this study was to empirically identify and statistically analyse the best geometric models to capture the 3D shape of the hamstrings and the quadriceps muscles. Therefore, we acquired magnetic resonance images (MRI) of the lower limbs in three healthy subjects and compared different shape models with data from MRI as gold standard. As a starting point, we used triangular, ellipsoidal and rectangular geometric shapes to parameterise the cross sectional areas of each muscle structure. The shape models were fitted to the MRI data using the Python scripting language and OpenCV libraries. Model agreement was statistically analysed for each geometric shape by calculating the so-called J index as the overlapping cross sectional area (CSA) divided by the sum of the non-overlapping plus the overlapping CSAs. The shape with the best fit was determined by comparing the J indexes with a linear regression analysis using shape as an independent variable and by comparing the number of CSAs a certain shape performed best. The rectangular shape performed best for all hamstrings and quadriceps muscles, except for vastus medialis where the ellipsoid shape was found to fit better. As a next step, the results from the present MRI-based muscle shape analysis will be used for the development of a geometric shape model of the thigh that can be fitted to a limited number of subject-specific anthropometric measurements for application to the strength training-specific setting.

V60

Glenohumeral contact pressure path: an ex-vivo study

J. Genter (Winterthur/CH, Basel/CH), E. Croci (Basel/CH), F. Eckers (Basel/CH), B. Oberreiter (Basel/CH), A. M. Müller (Basel/CH), A. Mündermann (Basel/CH), D. Baumgartner (Winterthur/CH)

Introduction

Rotator cuff tears (RCT) are linked with decreased joint centring in the shoulder. Comprehensive understanding of glenohumeral biomechanics is, however, lacking. We conducted a preliminary ex-vivo study to assess the glenohumeral joint centring in one human shoulder.

Methods

The shoulder was clamped in a muscular controlled glenohumeral simulator. The tendons of the supraspinatus, infraspinatus, teres minor, inferior and superior part of the subscapularis, deltoid anterior portion, deltoid middle portion, deltoid posterior portion, latissimus dorsi and pectoralis major were connected to a motorized pulley system and muscle forces were applied according to a static muscle optimization scheme. An abduction-adduction cycle of 30° was performed in the scapular plane under different rotator cuff tear types. Each tear type was repeated with additional weight simulating handheld weight ranging from 0 to 3 kg. The instantaneous contact pressure has been assessed with a 6-component force sensor.

Results

Fig. 1 illustrates the path of the contact pressure during 30° abduction. The contact path in the healthy shoulder moves central in the glenoid. The contact path is translated superiorly with increasing RCT severity and additional handheld weight.

Discussion

Patients with RCT are at higher risk for glenohumeral impingement or even subluxation of the joint. Our preliminary results of one shoulder clearly show the feasibility of using our shoulder simulator and experimental setup to further elucidate the contribution of rotator cuff components to glenohumeral stability and the biomechanical implications of rotator cuff tears.

Abb. 1

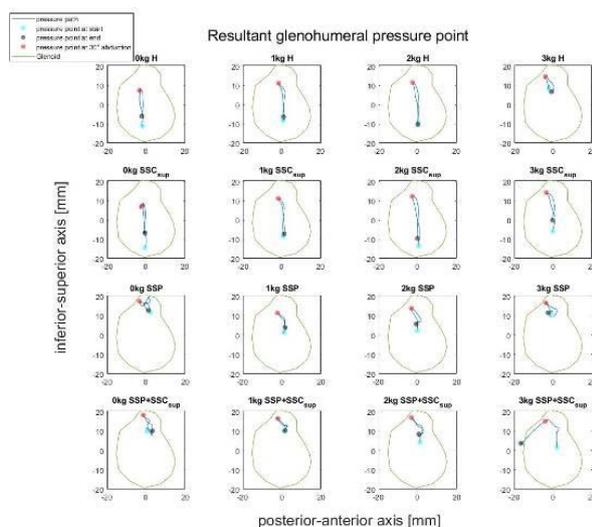


Figure 1: Glenohumeral contact pressure path during abduction-adduction for different rotator cuff tears and additional handheld weights. H: healthy; SSCsup: superior portion of the subscapularis tear; SSP: supraspinatus tear; SSP+SSCsup: supraspinatus and superior portion of the subscapularis tear

V61

Einfluss von Fußposition und Gewichtsbelastung auf die Stellung des distalen Tibiofibulargelenks

M. Heilemann (Leipzig/DE), F. Souleiman (Leipzig/DE), R. Hennings (Leipzig/DE), P. Hepp (Leipzig/DE), B. Gueorguiev (Davos/CH), G. Richards (Davos/CH), G. Osterhoff (Leipzig/DE), D. Gehweiler (Davos/CH)

Fragestellung

Die radiologische Stellungsanalyse des distalen Tibiofibulargelenks (DTFG) stellt eine wichtige Methode zur Bewertung der Stabilität des Gelenks dar. Der Einfluss der Fußposition bleibt hier jedoch häufig unberücksichtigt. Zudem bestehen Kontroversen hinsichtlich der Notwendigkeit von Weight-Bearing-CTs. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit mittels einer automatisierten, untersucherunabhängigen 3D-Methodik der Effekt von Fußposition und Gewichtsbelastung auf die Stellung des DTFG untersucht.

Methoden

Es wurden an 14 Spenderbeinen CT-Daten in je 5 Fußpositionen generiert: Neutralstellung, 15° interne/externe Rotation (IR/ER) und 20° Dorsal-/Plantarflexion (DF/PF). Sämtliche CT-Scans erfolgten belastet (700 N) und unbelastet. Zur Bewertung des Einflusses der Fußposition wurden die segmentierten 3D-Datensätze des jeweiligen DTFG in Nichtneutralstellung mittels Best-Fit-Matching an der Tibia-Geometrie des entsprechenden Datensatzes in Neutralstellung ausgerichtet. So wurden resultierende Stellungsunterschiede sichtbar. Diese wurden durch Schwerpunktsberechnungen mittels dreier Schlüsselparameter quantifiziert (siehe Abb. 1). Ebenso wurden sämtliche Daten im belasteten Zustand an den unbelasteten ausgerichtet und ausgewertet.

Ergebnisse

IR führte in beiden Belastungszuständen zur Vergrößerung des Clear Space ($p < 0,01$) und proximaler Verschiebung der Fibula ($p < 0,04$). ER verursachte eine dorsale Translation der Fibula ($p < 0,01$). Für DF ergab sich ebenfalls eine Vergrößerung des Clear Space ($p < 0,01$). In Neutralstellung zeigten sich keine Unterschiede zwischen belasteten und unbelasteten DTFG.

Schlussfolgerungen

Die Fußposition hat einen signifikanten Einfluss auf die Stellung des DTFG. Daher sollte eine Positionierung in Neutralstellung während der Bildgebung sichergestellt werden. Die Gewichtsbelastung zeigte an nativen DTFGs keinen relevanten Einfluss.

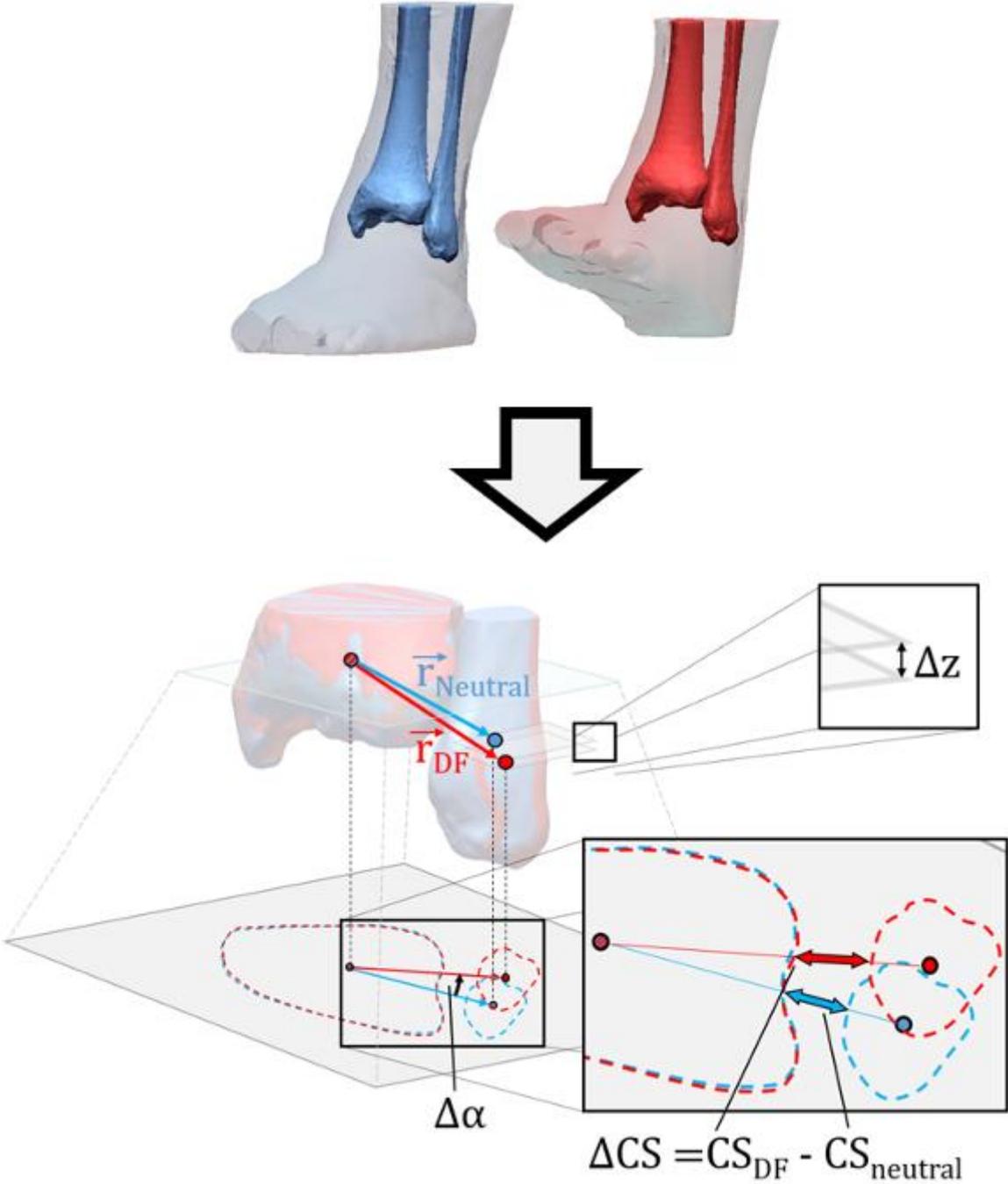


Abb. 1: Clear Space Difference (ΔCS), Vertical Offset (Δz) und Translation Angle ($\Delta\alpha$) am DTFG.

V62

Relation between 3D gait analysis and X-Ray for hip joint centre distance and frontal knee alignment using two different hip joint centre regression equations

L. Groblschegg (Wien/AT), F. Unglaube (Wien/AT), B. Attwenger (Wien/AT), S. Durstberger (Wien/AT), L. Koppenwallner (Wien/AT), A. Kranzl (Wien/AT)

Determining the position of the hip joint centre in 3D gait analysis (3DGA) is a challenge. Normally, diagnostic images are not available so the true position is unknown and the accuracy of the equations cannot be proven. The aim of the study was to quantify the estimation of the Davis [1] and Harrington [2] equations and impacts on the kinematic and kinetic data.

A patient group (age: 4-22 years; n=349, legs n=698) with frontal knee malalignment without any neuromuscular diseases from our gait database was analysed retrospectively. The frontal knee alignment and the hip joint centre distance (HJCD) were measured from full-length leg x-rays and compared to the corresponding values as calculated in the standing position of the 3DGA. The comparisons were made via Spearman correlations, Bland-Altman plots (BAP) and statistical parametric mapping.

The HJCD correlations between the x-ray and the 3DGA values were at $r=0.662$ ($p<0.001$) and $r=0.472$ ($p<0.001$) for the Harrington and Davis method respectively. The frontal knee alignment (KVV) correlations were at $r=0.753$ ($p<0.001$) and $r=0.737$ ($p<0.001$). The BAP for the HJCD showed minimal differences for the Harrington and large differences (mean: 20mm) for the Davis method. The knee alignment showed minimal differences for both methods (fig1). Differences between the two methods were found for joint kinematics and kinetics (fig2).

Due to the large differences in the calculations of the HJCDs compared to the small ones of the knee alignment, it was concluded that the frontal knee alignment is not as critical for errors in determining the HJC. In this large sample study, differences in kinematics and kinetics are rather small and below the minimal detectable change [3], except for the frontal hip moment.

[1] Davis, 1991, *Human Movement Science*

[2] Harrington, 2007, *J. Biomech.*

[3] Wilken, 2012, *Gait Posture*

Abb. 1

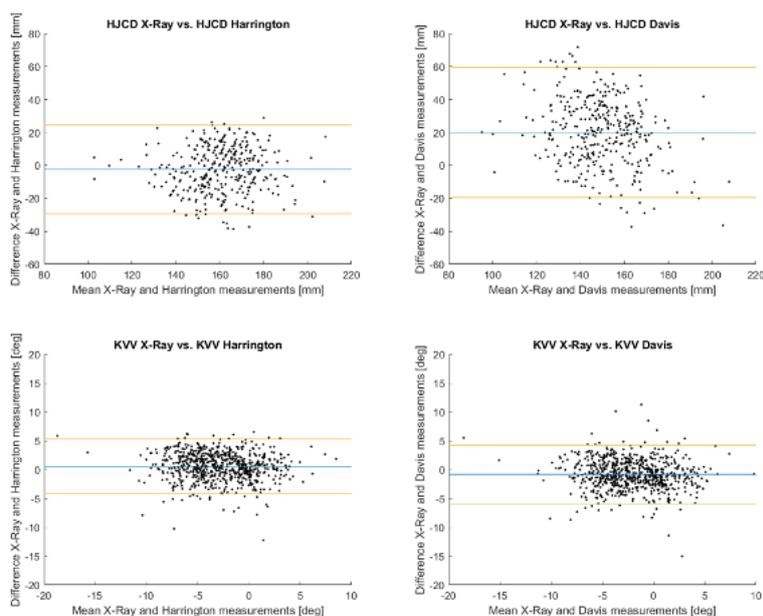


Figure 1: Bland-Altman plots visualising the hip joint centre distance differences between the X-Ray and Harrington (top left), X-Ray and Davis (top right) as well as the differences of the frontal knee angles between X-Ray and Harrington (bottom left) and X-Ray and Davis (bottom right)

Abb. 2

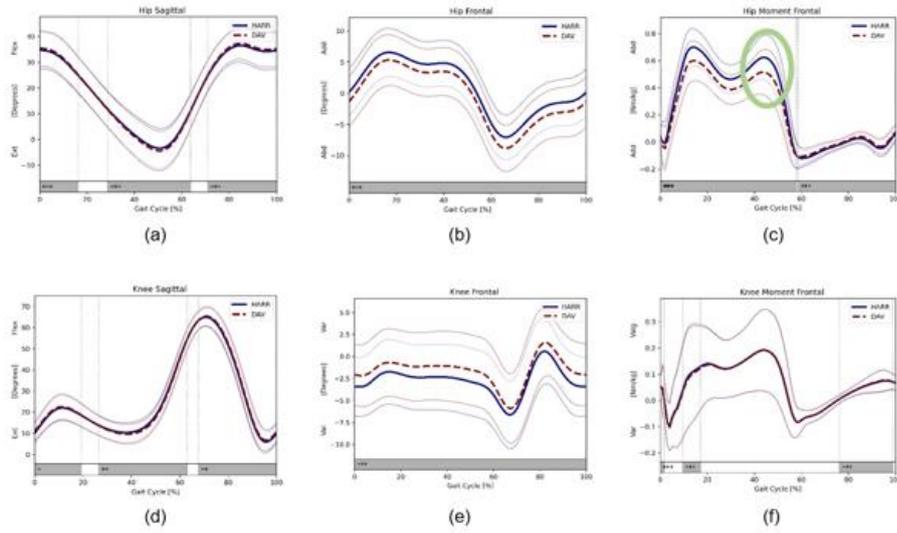


Figure 2: SPM plots for the sagittal (a), frontal hip (b) and knee kinematics (d, e) and the frontal hip (c) and knee (f) moments; significant differences in all plots are below the minimal detectable change, except for the frontal hip (c) moment (marked green area)

V63

Internal femoral deformities increase muscular effort and joint loads during walking

H. Kainz (Wien/AT), A. Kranzl (Wien/AT)

Introduction

Torsional deformities may increase joint loads and lead to osteoarthritis [1]. Little is known about the effect of femoral deformities on joint loads. Hence, we investigated how femoral deformities effect joint loads.

Methods

Three-dimensional gait analysis data of a person with a typical walking pattern were analyzed. We created musculoskeletal OpenSim models with a variety of femoral deformities ($\pm 20^\circ$ in 10° steps) [2]. With each model we tracked the gait data to quantify how torsional deformities affect joint kinematics, joint moment, muscle and joint contact forces (JCF).

Results

Femoral deformities mainly altered internal/external hip rotation but did not affect joint moments. Internal rotational deformities increased muscle forces and hip and knee JCF, whereas external deformities had a minor impact on muscle and JCF (figure 1).

Discussion

We showed that walking with a typical gait pattern requires more muscular effort and increases JCF in people with internal torsional deformities. Internal deformities led to external rotated hips, which deteriorated hip muscle mechanics. Although the average moment arms of the hip rotator muscle did not change, the muscle had to contract more and therefore produce forces 40% further away from their optimal fiber length, which decreased their maximum moment generating capacity by 50% (figure 2). Hence, substantial higher muscle activations were required to achieve a typical walking pattern, which is unlikely to be sustained over a long period. In-toeing gait, a common gait pattern seen in people with internal femoral deformities [1], decreased external hip rotation and therefore muscular effort and joint loading, and potentially explains why many patients choose this walking pattern.

References

[1] J. Orthop. Res. 2015, 33,155–162.

[2] J. Biomech. 2021, 125, 110589.

Abb. 1

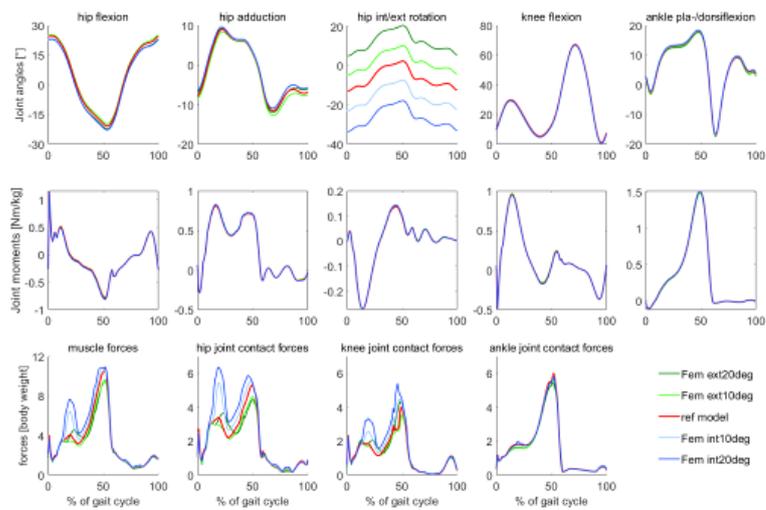


Figure 1. Simulation results.

Abb. 2

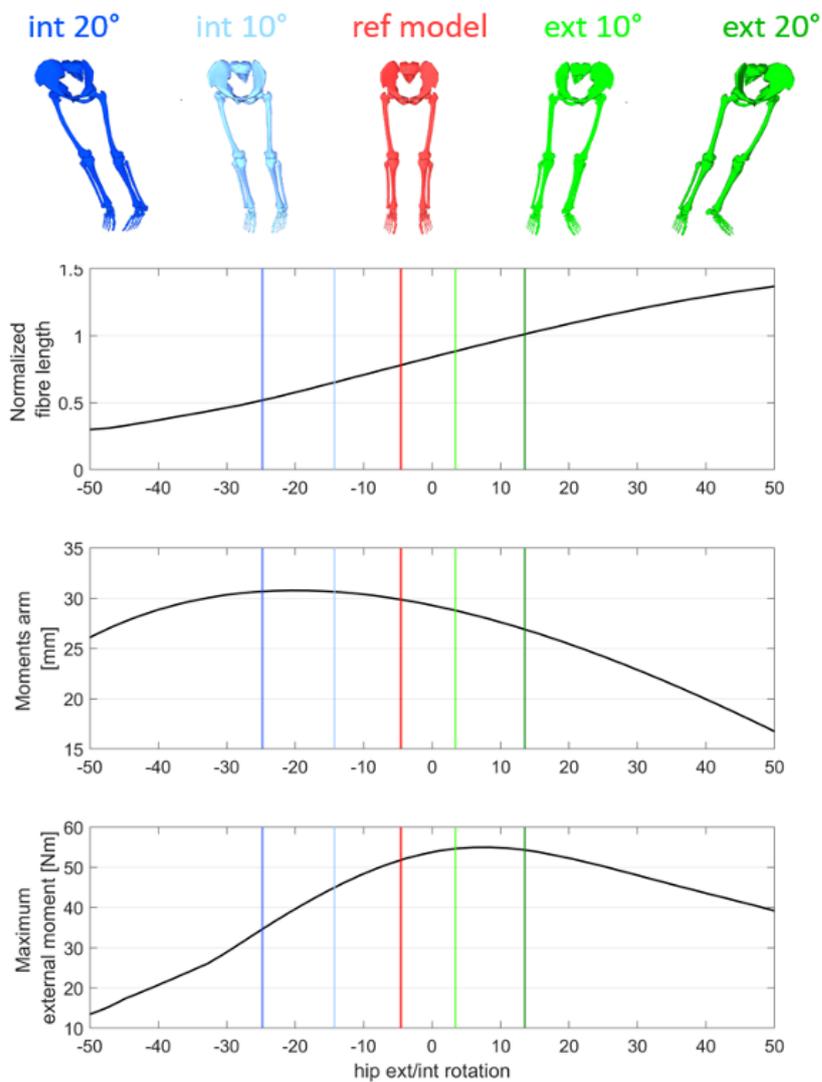


Figure 2. Properties of hip rotator muscles from -50 of external to 50 of internal hip rotation.

Session 10 • Bewegungsanalyse II

V64

VR-basiertes Perturbationstraining führt zu limitiertem Transfer von lokomotorischen Adaptationen auf die mechanische Umwelt

A. Weber (St. Augustin/DE, Remagen/DE, London/DE), U. Hartmann (Remagen/DE), G. Epro (London/DE), J. Werth (London/DE), P. Nickel (St. Augustin/DE), K. Karamanidis (London/DE)

Reaktives Perturbationstraining verbessert die Gangstabilität und reduziert das Sturzrisiko¹. Flexibles Gestalten von Trainings mit Perturbationsparadigmen in virtueller Realität (VR) bietet einen vielversprechenden Ansatz². Diese Studie untersuchte, ob die in VR-Szenarien verbesserten Fähigkeiten zur Hindernisvermeidung auf mechanische Perturbationen übertragen und beibehalten werden können.

Hierfür wurden 32 gesunde junge Erwachsene einer Interventions- und einer Kontrollgruppe zugeteilt. Alle Teilnehmer gingen auf einem Laufband und trugen ein VR-Headset, welches die Umgebung in realen Dimensionen darstellte³. Während des Gehens überstieg die Interventionsgruppe 50 unerwartete virtuelle Hindernisse. Sowohl anschließend als auch nach einer Woche ohne Training überstiegen alle Teilnehmer drei reale Hindernisse (Maße wie in VR, Transfer). Mittels kinematischer Daten wurde der vertikale Zehenabstand (ZA) zum Hindernis berechnet und die Gelenkwinkel mittels statistical parametric mapping verglichen.

Das wiederholte Überqueren virtueller Hindernisse führte zu einem verringerten ZA in der späten (MW±SD: 4,7±2,1cm) im Vergleich zur frühen (9,4±5,0cm) Adaptationsphase. Die adaptiven Veränderungen gingen mit erhöhter Extension am Hüft- und Kniegelenk einher, welche sich dem ungestörten Gang annäherten. Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigte die Interventionsgruppe einen niedrigeren ZA (11,9±4,0cm vs. 7,9±2,7cm) und erhöhte Knieextension bei erster Überquerung des realen Hindernisses. Nach einer Woche konnte kein anhaltender Transfer nachgewiesen werden.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Training mit VR in seiner Generalisierbarkeit limitiert ist und sich die Wahrnehmung der Umgebung und die motorische Antwort unterscheiden. Daher sollten solche Trainingsparadigmen für den Erwerb von lokomotorischen Fähigkeiten vor ihrem Einsatz sorgfältig geprüft werden.

¹Karamanidis et al., 2020, Exerc Sport Sci Rev

²Delgado et al., 2021, Games Health J

³Weber et al., 2021, J Biomech

V65

Einfluss neuro-muskulärer Kontrolle von Bewegung auf den Transfer von trainings-induziert verbesserter Stabilität zu untrainierten Störungen

J. Werth (London/GB), G. Epro (London/GB), A. Santuz (Berlin/DE), M. König (London/GB), A. Arampatzis (Berlin/DE), K. Karamanidis (London/GB)

Neurophysiologische Mechanismen, die den Transfer trainingsinduziert verbesserter Bewegungskontrolle auf untrainierte Aufgaben beeinflussen, sind unzureichend erforscht. Wir untersuchten die modulare Organisation der Motorik als einen möglichen Mechanismus, und verglichen die zugrundeliegenden Muskelsynergien¹ bei trainierter Stabilitätskontrolle mit solchen bei nicht-trainierten Störungen.

Dreißig Erwachsene (20-53 Jahre) wurden zwei Trainingsgruppen (acht Gangstörungen auf dem Laufband mit niedriger oder hoher Störungsstärke) und einer Kontrollgruppe (ungestörter Gang) zugeordnet. Anschließend wurden alle Teilnehmer einem Stabilitätsverlust aus statischer Vorneigung (Lean-and-Release) und einer Gangstörung auf ebenem Boden ausgesetzt. Über Elektromyographie wurden die Muskelsynergien während der Stabilitätswiderherstellungsschritte zwischen den Aufgaben verglichen, mittels optischer Bewegungserfassung die zugrundeliegende Gelenkwinkelkinematik analysiert, und Stabilitätskontrolle anhand der Margin of Stability (MoS) bewertet.

Beide Trainingsgruppen verbesserten die Stabilitätskontrolle nach acht Gangstörungen ($p < 0,001$). Während es keine Gruppenunterschiede für Lean-and-Release gab, zeigten die Trainings- im Vergleich zur Kontrollgruppe(n) eine bessere Stabilitätskontrolle ($p < 0,01$) für die Gangstörung auf dem Boden, ohne weiteren Einfluss der Störungsstärke auf den Transfer. Die Bewegung auf dem Laufband wies zeitliche und funktionale Unterschiede in den Muskelsynergien zum Lean-and-Release auf, und mehr Diskrepanz in der Gelenkwinkelkinematik als zu solcher auf dem Boden.

Die Studie zeigt, dass Stabilitätskontrolle bei nicht-trainierten Störungen durch Training verbessert werden kann. Der Transfer scheint nicht unbedingt durch die Störungsstärke im Training, jedoch aufgabenspezifisch, und durch die Äquivalenz neuro-muskulärer Kontrolle von Stabilität für trainierte und untrainierte Störungen, beeinflusst zu sein.

¹Santuz et al., 2018, Sci Rep

V66

Validierung eines Hindfoot Alignment Device zur verbesserten Standardisierung der Markerplatzierung am Rückfuß in 3D Fußmessmethoden

S. Campos (Heidelberg/DE), F. Salami (Heidelberg/DE), A. Rehani Musagara (Heidelberg/DE), S. I. Wolf (Heidelberg/DE)

Einleitung: Simon et al.[2] entwickelten im Rahmen der Heidelberger Fußmessmethode (HFMM) ein Heel Alignment Device (HAD). Die unzureichende Anpassung an unterschiedliche Fußgrößen und -deformitäten veranlasste die Weiterentwicklung eines Hindfoot Alignment Device (HiAD) (Abb. 1A).

Fragestellung: Inwieweit ist das HiAD eine reliable Methode zur Platzierung medialer und lateraler Rückfußmarker?

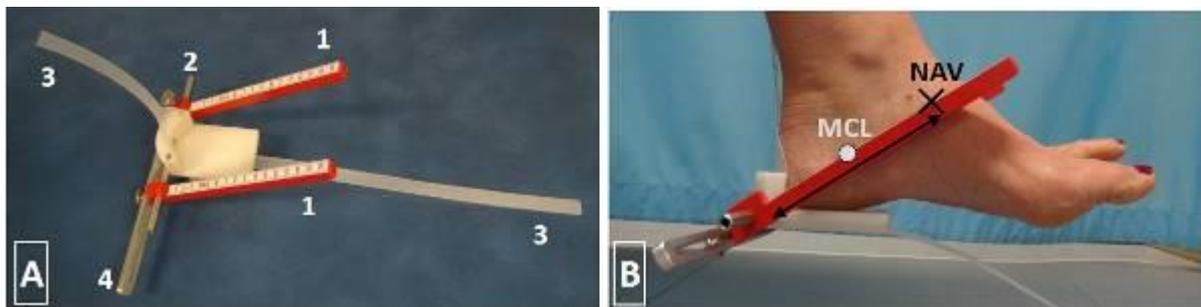
Methoden: Die Marker wurden zweimal nach der HFMM mit dem HiAD von 3 Untersuchern gesetzt. Zur Bewertung der Zuverlässigkeit wurde der euklidische Abstand des medialen (MCL), lateralen Kalkaneus- (LCL) und des Navicularmarkers (NAV) zum Mittelpunkt der Malleoli (MM) statisch gemessen. Die Berechnung des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten wurde als Reliabilitätstest verwendet.

Ergebnisse: Die mittleren Abstände der Position von MCL, LCL und NAV zu MM sind in Abb.1C dargestellt. Der ICC für die Intrarater-Reliabilität lag bei allen 3 Untersuchern zwischen 0,855 und 0,953 für MCL und LCL. Die Intrarater-Reliabilität ergab ICC-Werte von 0,883 (MCL) und 0,716 (LCL).

Schlussfolgerung: Intrarater-Reliabilität erreichte für die Markerpositionen MCL, LCL und NAV ausgezeichnete ICC's. Interrater-Reliabilität war gut (LCL+NAV) bis ausgezeichnet (MCL). Das HiAD bietet eine verbesserte standardisierte Markerplatzierung, gute Durchführbarkeit und kann leicht in die klinische Routine implementiert werden. MCL und LCL, die zur Bildung eines Koordinatensystems des Rückfußes verwendet werden, konnten mit hoher Zuverlässigkeit platziert werden.

Simon, et al., Gait Posture, 2006. 23(4): p. 411-24.

Abb. 1



C	Examiner 1		Examiner 2		Examiner 3		All
	distance (mm)	ICC	distance (mm)	ICC	distance (mm)	ICC	Examiners
MCL	67.5±4.5	0.953	67.1±4.9	0.935	66.6±4.7	0.921	0.883
LCL	64.4±4.2	0.905	64.9±4.6	0.899	67.5±4.8	0.855	0.716
NAV	52.82±5.09	0.83	52.19±5.06	0.902	49.67±5.46	0.937	0.66

Abb.1: A: HiAD, 1: parallel bewegliche Zeiger 2: Drehachse 3: flexible vertikale und horizontale Achse 4: Gleitplatte B: Applikation HiAD Pfeil: Rückfußlänge bis zu NAV Kreuz: Position des NAV Punkt MCL: bei 45% der Rückfußlänge wird MCL platziert C: ICC, Mittelwert und SD der Abstände von MCL, LCL und NAV zu MM für jeden Untersucher skaliert auf die mittlere Fußgröße der Kohorte (in mm).

V67

Biomechanik der anterolateralen Lemaire Tenodese bei aktiver Flexion-Extension

M. Sigloch (Innsbruck/AT), R. Mayr (Innsbruck/AT), B. Glodny (Innsbruck/AT), W. Schmölz (Innsbruck/AT)

Fragestellung: Ziel der Studie war die direkte Messung der Kräfte in einer, die vordere Kreuzbandrekonstruktion (VKBR) unterstützenden, anterolateralen Tenodese (ALT) während der Flexion-Extension des Kniegelenks. Zusätzlich wurde eine mögliche Einschränkung des Extensionsgrades nach kombinierter VKBR+ALT im Vergleich zur isolierten VKBR untersucht.

Methoden: Bei sieben humanen Kniepräparaten wurden das vordere Kreuzband und der anterolaterale Bandkomplex durchtrennt. Es erfolgte eine isolierte VKBR gefolgt von einer kombinierten VKBR+ALT. Mit Hilfe eines Kniesimulators wurde eine Flexion-Extension kraftgesteuert über aktive Muskelkräfte induziert (open-chain). Die dabei auftretenden Kräfte in der ALT wurden über eine am femoralen Austrittspunkt verankerte Kraftmessdose gemessen. Der femorale ALT Insertionspunkt wurde zusätzlich postoperativ mittels Computertomographie relativ zum in der Literatur beschriebenen Zielinsertionspunkt der modifizierten Lemaire Technik vermessen.

Ergebnisse: In Extension stieg die Kraft in der ALT im Median auf 39 N (Range: 26 N bis 55 N). In Flexion über 70° zeigte sich eine Entlastung der ALT (Median: 2 N, Range: 0 N bis 3 N). Es wurde keine Einschränkung des Extensionsgrades nach kombinierter VKBR+ALT im Vergleich zur isolierten VKBR nachgewiesen (P=0,31). Der intraoperative femorale Insertionspunkt variierte nur gering um den theoretischen Zielinsertionspunkt (proximal 2,3 mm; Range: -2,2 mm bis 4,2 mm) (posterior 2,2 mm, Range: 0,3 mm bis 5,4 mm) und hatte einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Kräfte in der ALT.

Schlussfolgerungen:

- Die Kräfte in einer ALT nehmen bei aktiver Flexion-Extension in Extension zu und liegen nicht im Bereich kritischer Werte der femoralen Fixation.
- Eine geringe Variation des femoralen Insertionspunktes der ALT hat einen vernachlässigbaren Einfluss auf die resultierenden Kräfte in der ALT.
- Die kombinierte VKBR+ALT führt zu keiner Einschränkung des Extensionsgrades im Vergleich zur isolierten VKBR.

V68

Analyse des Gangbildes bei der Verwendung von Exoskeletten

J. Johns (Köln/DE), U. Glitsch (Köln/DE), F. Varga (Köln/DE), I. Schultes (Köln/DE), K. Heinrich (Köln/DE)

Einleitung:

Rumpfunterstützende Exoskelette werden seit einigen Jahren zur Verminderung körperlicher Belastungen an industriellen Arbeitsplätzen eingesetzt. Während ein genereller unterstützender Effekt bei der Ausführung relevanter Haupttätigkeiten, wie Heben und Halten, nachgewiesen werden konnte (de Looze et al., 2016; Glitsch et al., 2020), gibt es nur vereinzelt Erkenntnisse zum Einfluss auf das Gehen als wichtigste Nebentätigkeit (Park et al., 2020). Da kinetische oder kinematische Veränderungen beim Gehen zu geringerer Akzeptanz der Systeme bzw. einer Erhöhung des Sturzrisikos führen könnten, stand die Analyse des Gangbildes im Fokus dieser Studie.

Methoden:

12 Probanden (6m, 6w, 25±2 Jahre) führten jeweils 4 Gangversuche über Kraftmessplatten in 4 Bedingungen durch (ohne Exoskelett NO, mit aktivem A, mit passiven P1 und P2). Kinematische Daten wurden über ein 12-Kamera-Vicon-System und je nach Exoskelett bis zu 65 reflektierende Marker aufgezeichnet. Zusätzlich zu den Bodenreaktionskräften (2 KMP) wurden Gelenkwinkel und -momente der unteren Extremitäten modelliert und Kontaktzeiten bestimmt, um das Gangverhalten zu analysieren.

Ergebnisse und Diskussion:

Die Bodenreaktionskräfte folgten in allen Bedingungen typischen Verläufen, und wie erwartet spiegelten die vertikalen Komponenten das Eigengewicht der Exoskelette wider. Der Vergleich der Kontaktzeiten konnte nur für A (87,7±8,9ms) einen signifikanten Unterschied zu NO (81,5±6,2ms) zeigen. Die Analyse der Kniebelastung ergab für P2 signifikant höhere maximale Extensionsmomente bei geringeren mittleren Beugewinkeln als für NO. Inwiefern Konstruktions- und Gewichtsunterschiede der Systeme die Veränderungen im Gangbild verursacht haben, sollte weiter untersucht werden.

Literatur:

de Looze et al. (2016). *Ergonomics*, 59, 671-681.

Glitsch et al. (2020). *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 74, 294-305.

Park et al. (2020). In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2020.

V69

Outcome Measures in der Exoprothetik: Kann die Nutzung von IMUs die Objektivität erhöhen?

A. Dlugoszek (Göttingen/DE), T. Schmalz (Göttingen/DE), M. Bellmann (Göttingen/DE)

Klinische Outcome Measures (OM) stellen u.a. motorische Tests dar, anhand derer die Mobilität, Balance und Lebensqualität von Patienten bewertet werden. Somit könnten OM in der Exoprothetik eine Möglichkeit bieten, kostengünstig und ohne technisches Equipment den Mehrwert eines prothetischen Passteils im Vergleich zu anderen nachzuweisen. Eine vorherige Studie zeigt, dass verfügbare OM zur Differenzierung von Prothesenkniegelenken nur bedingt und zur Differenzierung von Prothesenfüßen gar nicht geeignet sind. Hierfür werden sensitivere OM, die die funktionellen Charakteristiken von Amputierten besser abbilden, benötigt. Die vorliegende Studie (N=16TN) überprüft, ob zusätzliche kinematische Daten einen Beitrag zur besseren Differenzierung leisten können. Für Beinamputierte relevante Bewegungen wie das Treppen- und Rampengehen, das ebene Gehen in verschiedenen Geschwindigkeiten sowie das Gehen um enge Kurven oder auf unebenen Untergründen, das Hinsetzen/Aufstehen und das Stehen an der Schräge wurden untersucht. Zusätzlich zur Bewertung der Qualität der Bewegungsausführung wurden mit Hilfe von einfach applizierbaren Inertialsensoren (IMUs) der sagittale Kniewinkel (KW) aufgezeichnet. Die Daten zeigen, dass der Einsatz von IMUs bei eindimensionalen Bewegungen wie dem Stehen an der Schräge (Abb.1) und dem Hinsetzen/Aufstehen anhand des KW einen Mehrwert bieten. Beim ebenen Gehen sind die IMU-Daten nur bedingt hilfreich. Beim Gehen auf Treppen und Rampen liegen die Abweichungen der mit den IMUs gemessenen KW teilweise außerhalb der erforderlichen Genauigkeit und zeigen keinen zusätzlichen Nutzen. Beinhalten die Bewegungen Drehungen/Richtungswechsel, werden große Abweichungen vom realen KW (teilweise mit im Passteil integrierter Sensorik messbar) sichtbar (Abb.2), weshalb der Einsatz von IMUs für diese Anwendung momentan nicht möglich ist. Obwohl IMUs nicht für alle Bewegungen einsetzbar sind, kann deren Einsatz partiell zur erfolgreichen Passteildifferenzierung beitragen.

Abb. 1

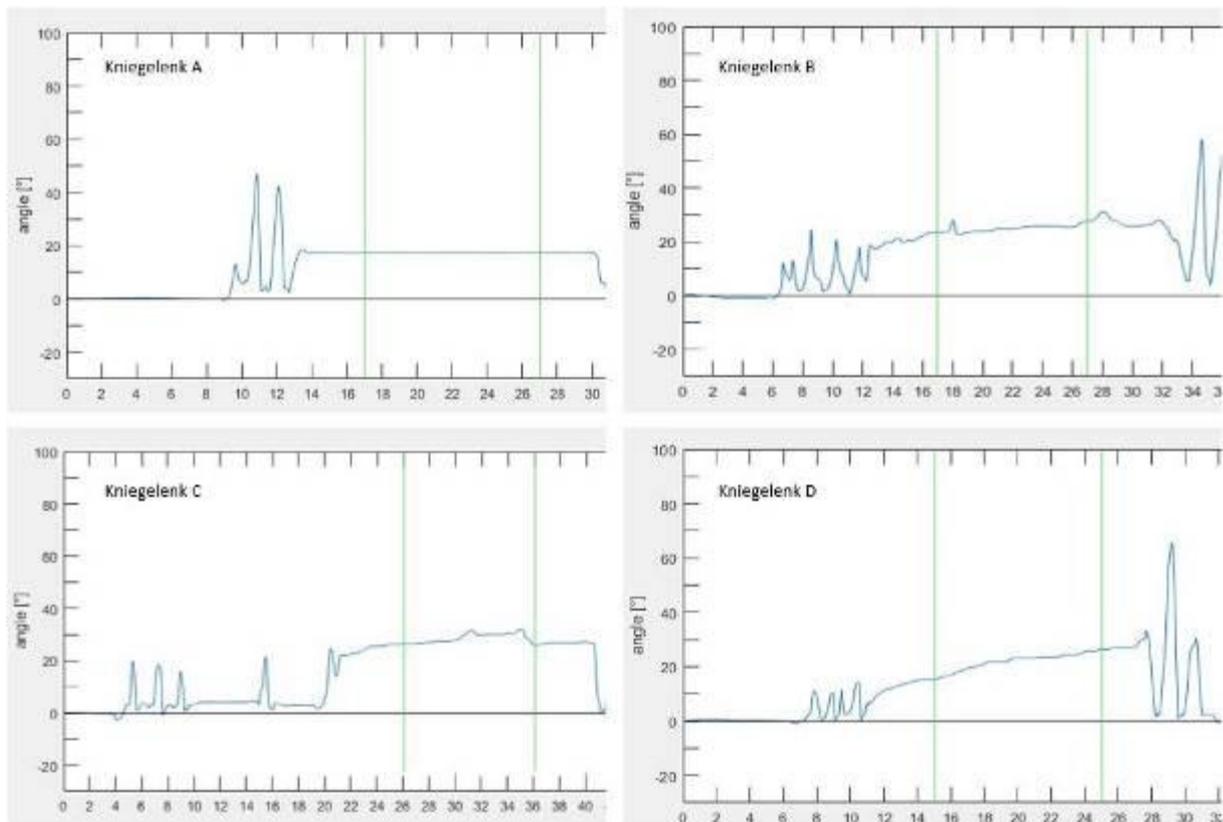


Abb. 1: Stehen (10sec innerhalb grüner Markierungen) an der Schräge. Mit IMUs gemessener sagittaler Kniewinkel mit den Kniegelenken A-D, welcher die passteilbedingten Unterschiede im Stehmuster aufzeigt.

Abb. 2

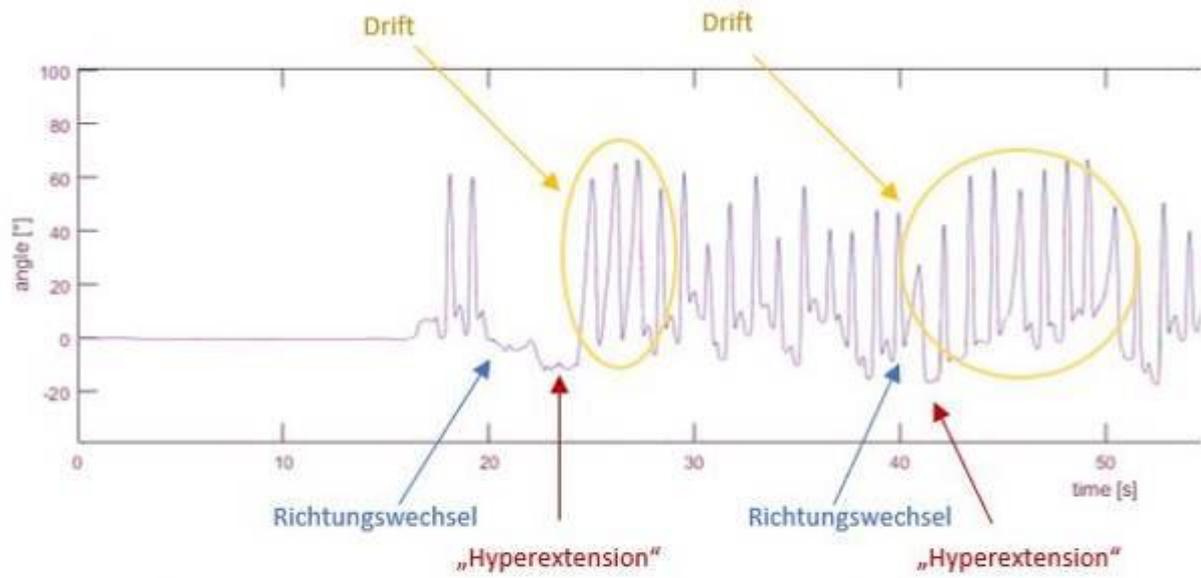


Abb. 2: Verschiedene Alltagsbewegungen mit Richtungswechsel. Mit IMUs gemessener sagittaler Kniewinkel, welcher Abweichungen von reellem Wert in Form von Drift-Erscheinungen sowie vermeintlicher Hyperextension jeweils nach Richtungswechsel aufzeigt.

Session 11 • Numerische Methoden

V70

Patientenindividuelle Designoptimierung eines Tibiaplateaus mittels FEM und künstlicher Intelligenz

J. Rost (Heilbad Heiligenstadt/DE), K. Liefelth (Heilbad Heiligenstadt/DE)

Fragestellung: Die Relativbewegungen zwischen Implantat und Knochengewebe spielen für das Einwachsverhalten von lasttragenden Implantaten eine wesentliche Rolle. Neben der Struktur der Implantatoberfläche erweist sich das Implantatdesign als geeignete Individualisierungskomponente und verspricht so, gegenüber einem standardisierten Design, eine bessere biomechanische Belastungssituation. In der vorliegenden Studie wird ein multidisziplinärer Ansatz zur Designoptimierung (MDO) getestet, der auf der Finite-Elemente-Methode (FEM), einem künstlichen neuronalen Netzwerk (KNN) sowie genetischer Algorithmen (GA) basiert, um das 3D-Design eines zementfreien tibialen Knieimplantats unter Berücksichtigung der Interfacereaktionen sowie der Implantatbelastung zu optimieren.

Methoden: Die CT-Daten eines unauffälligen Kniegelenkes dienen als Basis des FE-Modells. Das 3D-Design des zu optimierenden Implantates basiert auf einem handelsüblichen Implantat. Das Implantat wurde virtuell in neutraler Position implantiert. Zum Aufbau eines "Meta-Modells" wurde *in silico* eine hohe Anzahl von FE-Modellen mit modifiziertem Implantatdesign mittels Mesh-Morphing erstellt. Der Einfluss der muskuloskelettalen Belastungsbedingungen auf die Interfacereaktionen zwischen Implantat und Knochen wurde durch sieben Belastungsfälle auf der Grundlage der öffentlichen Datenbank von Orthoload (Orthoload.com) simuliert. Eine "Kontaktmodellierung" des Interface" Implantat/Knochen ermöglicht die belastungsbedingten Relativbewegungen beider Komponenten im FE-Modell.

Ergebnisse: Mittels eines Meta-Modells auf Basis eines KNN wurde eine multi-faktorielle Designoptimierung mit Hilfe eines GA durchgeführt. Das Resultat dieser Optimierung aus Relativbewegung und Implantatbelastung bildet eine Pareto-Front die eine Reihe optimaler Lösungen des Optimierungsproblems bereitstellt. Es zeigt sich eine Verringerung der Relativbewegungen sowie der Implantatbelastung von über 20% gegenüber dem Standardimplantat.

V71

Influence of stiff-knee gait on EMG and muscle activation during predictive simulation

G. Fernandes dos Santos (Hannover/DE), E. Jakobowitz (Hannover/DE), C. Hurschler (Hannover/DE)

Introduction: Patients who suffer stroke may exhibit stiff-knee gait (SKG), a lack of knee flexion during the swing phase. Healthy subjects with a knee orthosis may adopt compensatory strategies to SKG similar to stroke patients [1]. Constrained knee flexion in prosthetic gait could aid the investigation of the effects of SKG. In predictive simulation, new motions independent of experimental data are generated [2]. The aims of this study are to predict the effects of SKG and to compare predicted muscle activation to electromyography (EMG).

Methods: Contralateral (CL) EMG data of a unilateral knee disarticulation amputee (AMP) was collected during gait using knee prosthesis as reference (REF), and with the prosthetic knee locked preventing flexion (SKG). A 3D muscle-driven predictive model of the same patient (Pred-AMP) was created. The CL side of the model was mirrored and an able-bodied model (Pred-AB) was created, allowing the prediction of unimpaired symmetrical gait. All predictions, which were formulated as optimal control problems [2], were performed for REF and SKG conditions, where the knee flexion was constrained. EMG of a healthy subject (Healthy) was collected during normal gait (REF) and using an orthosis on ipsilateral (IL) knee (SKG).

Results: Pred-AMP predicted an increase in CL knee flexor activity around 15% of the gait cycle (GC), which was also observed in the EMG of AMP (Fig. 1). Pred-AB presented asymmetry in SKG. Increased knee extensor activity at 40% of the GC, advanced onset of medial gastrocnemius activity, and increased tibialis anterior activity were observed in Pred-AB IL and Healthy during SKG.

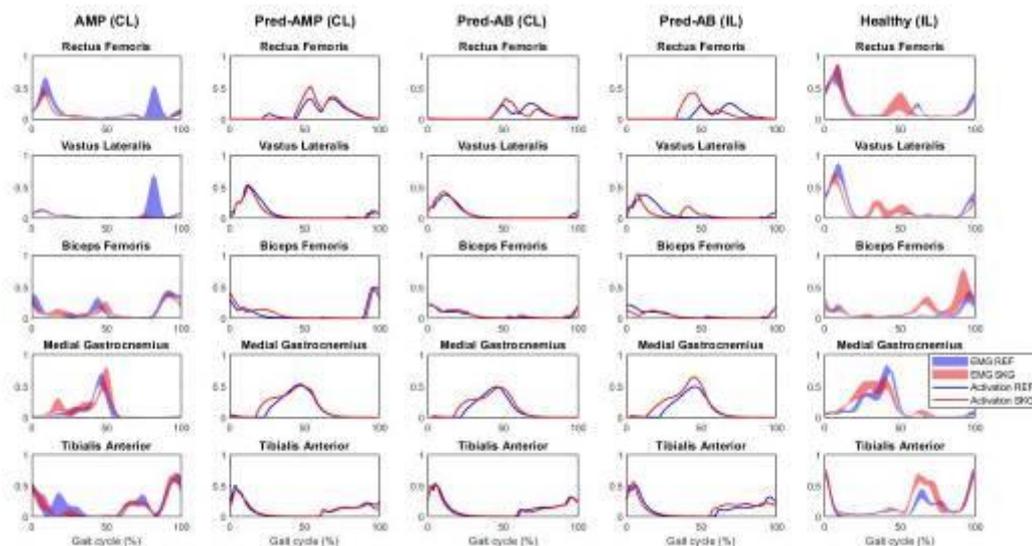
Conclusion: Some effects of the SKG were predicted, but deviations were observed in particular for the rectus femoris. Future work will focus on improving the prediction and investigating the level of knee flexion limitation.

References

[1] Celestino ML et al. (2021). J Biomech, 128: 110712.

[2] Santos GF et al. (2021). Sci Rep, 11: 21351.

Abb. 1



V72

Finite-Elemente-Analyse zur präklinischen Bewertung von patientenspezifischen Sonderanfertigungen

J. B. Weiß (Tuttlingen/DE), G. Hettich (Tuttlingen/DE), B. Wunsch (Hürth/DE), T. M. Grupp (Tuttlingen/DE, München/DE)

Fragestellung: In schweren von Rekonstruktionschirurgie am Kniegelenk kann eine patientenspezifische Sonderanfertigung eine der wenigen verbleibenden Möglichkeiten darstellen. Die Sonderanfertigung ist häufig eine Modifikation eines zugrundeliegenden Referenzimplantats, wobei nur für das Referenzimplantat biomechanische Testergebnisse und Nachweise der klinischen Leistung vorliegen. Für die biomechanische und präklinische Bewertung der Sonderanfertigung wird in dieser Arbeit eine Methode vorgeschlagen.

Material und Methoden: Die Methode (Abb. 1) nutzt die Finite-Elemente-Analyse (FEA) und umfasst sechs Schritte: (1) Identifizierung des wichtigsten potenziellen Versagensmechanismus und der entsprechenden FEA Kenngröße. (2) Reproduktion der biomechanischen Prüfung des Referenzimplantats mittels FEA. (3) Ermittlung des Maximalwerts der entsprechenden FEA Kenngröße bei gegebener Belastung. (4) Festlegung dieses Wertes als Akzeptanzkriterium für die FEA der Sonderanfertigung. (5) Reproduktion des biomechanischen Tests mit der Sonderanfertigung mittels FEA. (6) Schlussfolgerung, ob das Akzeptanzkriterium erfüllt ist oder nicht. Die Methode wird am Beispiel einer repräsentativen Knie-Sonderanfertigungen gezeigt. Die dabei verwendeten FEA Modelle wurden nach ASME V&V40 [1] untersucht.

Ergebnis: Das vom Referenzimplantat abgeleitete FEA-Akzeptanzkriterium wurde im vorliegenden Fall von der Sonderanfertigung erfüllt. Die beobachtete max. Zugspannung der Sonderanfertigung ist geringer als die des Referenzimplantats (Abb. 2). Ein biomechanischer Test mit der Sonderanfertigung bestätigt das FEA Ergebnis.

Schlussfolgerung: In dieser Studie wird eine zerstörungsfreie und effiziente Methode für die präklinische Bewertung einer patientenspezifischen Sonderanfertigung vorgeschlagen und mittels eines biomechanischen Tests bestätigt.

Literatur: [1] ASME V&V40- 2018 Assessing Credibility of Computational Modeling through Verification and Validation: Application to Medical Devices

Abb. 1

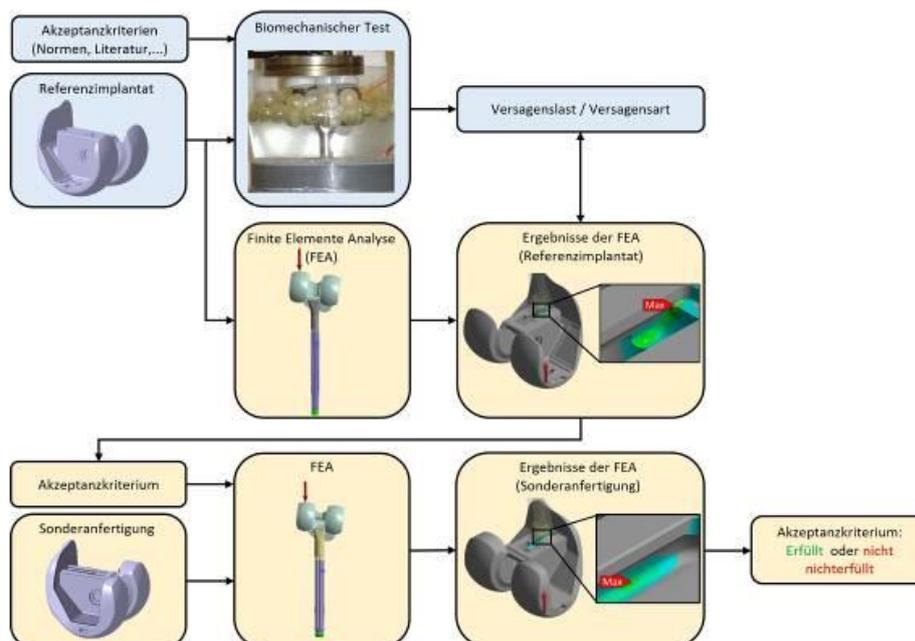
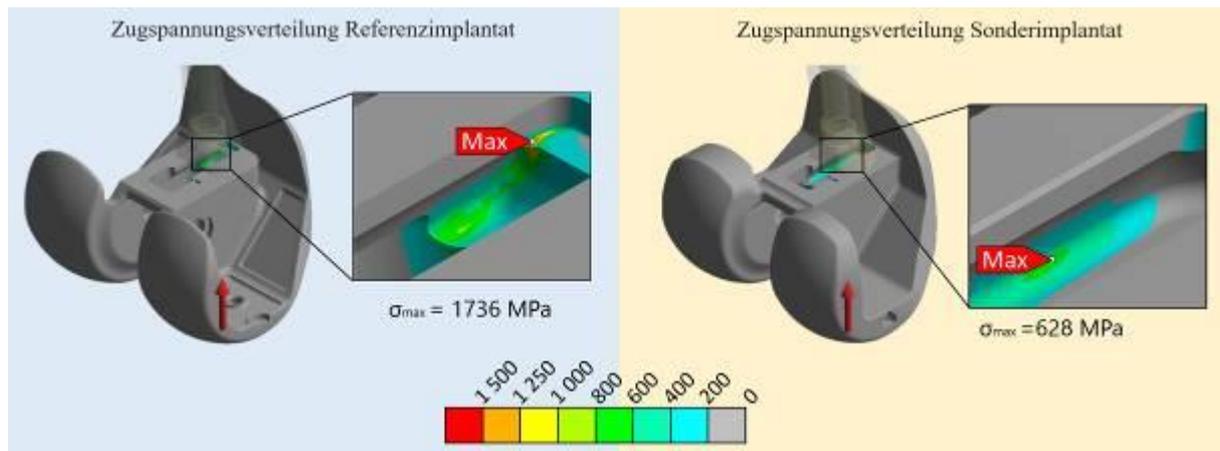


Abb. 2



V73

Untersuchung verschiedener Modellierungsansätze für den Kortikalis-Spongiosa-Übergang – Eine Finite-Elemente-Analyse unter Nutzung gradierter Materialeigenschaften

O. Roffmann (Hannover/DE), M. Stiesch (Hannover/DE), A. Greuling (Hannover/DE)

In der modernen Zahnmedizin werden fehlende Zähne häufig durch Implantate ersetzt, dennoch ist Implantatverlust weiterhin ein Problem. Die Ursachen dafür sind vielfältig, oft spielen Krankheiten wie Periimplantitis oder biomechanische Faktoren eine Rolle. Okklusale Überlastung ist eines der bekannten Probleme und wird häufig mittels Finite-Elemente-Analysen untersucht. Allerdings beeinträchtigen Phänomene wie Singularitäten die Lösung der Simulation und erschweren damit bei manchen Fragestellungen die Interpretation der Ergebnisse.

In dieser FE-Studie wird der Effekt eines neuen Modellierungsansatzes auf die Spannungsverteilung im periimplantären Knochen untersucht. Üblicherweise werden in Simulationsmodellen bei dentalen Fragestellungen die Spongiosa und die umliegende Kortikalis separat modelliert. Hier hingegen erfolgt die Ausführung des Knochens als funktional gradiertes Objekt, wodurch die Materialeigenschaften lokal definiert werden können. Der entwickelte Ansatz ermöglicht die automatisierte Erstellung einer Übergangsschicht zwischen den beiden Gewebetypen (siehe Abbildung 1).

Erste Ergebnisse zeigen, dass Spannungssingularitäten durch diesen Ansatz verhindert werden können. Zudem fallen die Spannungen in bestimmten Bereichen des Knochens gegenüber der herkömmlichen Methode deutlich niedriger aus. Der untersuchte Modellierungsansatz bietet die Möglichkeit, Singularitäten zu beheben und den Knochen realistischer zu modellieren. Durch die automatische Zuordnung der Materialparameter bietet sich diese Methode als Basis für weitere Automatisierungsvorhaben im Kontext patientenindividueller Simulationsmodelle an.

Abb. 1

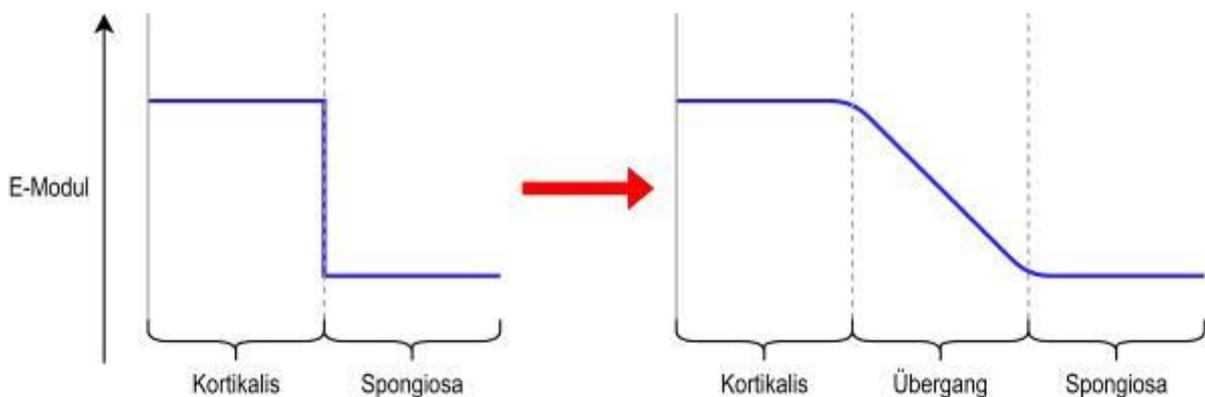


Abbildung 1: Eine Übergangsschicht wird durch eine lokale Änderung des E-Moduls zwischen Kortikalis und Spongiosa erreicht.

V74

Entwicklung und Validierung einer 3D-gedruckten Laufeinlage

T. Stief (Gießen/DE), T. Sprekelmeyer (Osnabrück/DE)

Fragestellung

Der Windlass Mechanismus (WM) ist für eine physiologische Fußstellung während der Push Off Phase (POP) des Laufens essenziell. Beim funktionellen Pes Valgus ist der WM gestört. Bisher gab es keine Einlage (FO) die ihn unterstützt. Ziel war die Entwicklung und Validierung einer 3D-gedruckten FO (WMFO) die den WM unterstützt.

Methoden

Die Konstruktion der WMFO orientiert sich am funktionellen Aufbau des Fußes (Abb. 1 oben) und soll eine dynamische und phasenspezifische Unterstützung ermöglichen. Bei Dorsalextension des Vorfußbereichs wird der Mittel- u. Rückfußbereich aufgespannt (Abb. 1 unten).

In einer Validierungsstudie wurden die Effekte bei Läufern mit Pes Valgus überprüft. 11 Personen (39±6 J, 8 m) nahmen teil. Die Untersuchungsbedingungen waren: Laufbandlaufen ohne Versorgung (woFO), mit stützenden FO (CFO), sensomotorischen FO (SMFO) und WMFO in randomisierter Reihenfolge. Pronations-/Supinationsmomente wurden mit dem Messsystem vebitoScience (120 Hz) ermittelt. Ausgewertet wurden die Maxima während der POP. Mittels einfaktorieller ANOVA erfolgte die statistische Analyse.

Ergebnisse

Während POP tritt ohne FO eine maximale Belastung von $-5,4 \pm 8,9$ Nmm auf, mit CFO $3,5 \pm 12,4$ Nmm, SMFO $-8,9 \pm 9,6$ Nmm und WMFO $47,6 \pm 8,0$ Nmm. Positive Vorzeichen stehen für eine Supinationsbelastung, negative für eine Pronationsbelastung. Die Bedingung WMFO unterscheidet sich signifikant von allen anderen (Abb. 2).

Schlussfolgerung

In der POP tritt bei den untersuchten Läufern mit Pes Valgus ohne FO keine physiologische Supination auf. Mit WMFO wird die Supination während der POP nachweisbar unterstützt, mit CFO und SMFO nicht. Die Supination ist der Bestandteil des WM und für die physiologische Lokomotion essenziell. Folglich kann gesagt werden, dass die Ziele, den WM bei Läufern mit Pes Valgus mittels WMFO zu unterstützen, erreicht wurden.

Quelle

Lucas, R. et al. (2017): Influence of foot posture on the functioning of the windlass mechanism. In: Foot (Edinburgh, Scotland) 30.

Abb. 1

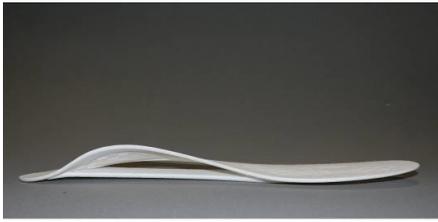
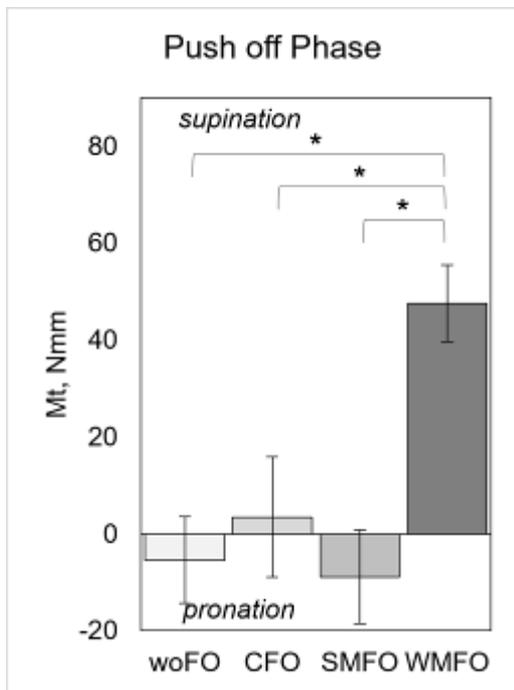


Abb. 2



V75

Using Deep Learning in Stroke Rehabilitation – A step towards individualized patient care

S. David (Amsterdam/NL), M. Punt (Utrecht/NL)

Purpose:

This study aimed to explore the potential of variational autoencoders (VAEs) to allow an holistic view on the individual without the need to preselect parameters for gait evaluation.

Methods:

422 files containing the sagittal lower-limb joint angles of 31 stroke patients (age 59.3 ± 12.1 years) and 42 healthy controls (age 42.6 ± 14.1 years) collected during treadmill walking were used to train a VAE in Python. The VAE consisted of an encoder, used to extract the latent variables from the original joint angle data and a decoder, trained to reconstruct output similar to the original joint angle data using the two latent variables from the encoder. The reconstruction accuracy of the decoder was assessed using the Pearson correlation coefficients and the (normalized) RMSE, calculated between the input and the reconstructed time series. The latent space characteristics were explored by comparing the joint angles of selected participants on the 2D map.

Results:

The stroke patients are located along a diagonal axis on the 2D latent space. The Pearson's correlation coefficient between the input and the reconstructed angles was 0.84 ± 0.19 (range $0.93 - 0.7$). The RMSE was 7.4 ± 0.9 degrees (normalized RMSE: 21.9 %). The outer edges of the latent space are characterized by reduced ankle plantar flexion and gait speed and increased left-right asymmetry. Comparing the upper half of the map to the lower one results in a decrease of hip extension.

Discussion and Conclusion:

VAE are a promising tool for gait analysis. There is no need for preselection of parameters and the whole movement can be considered as the interaction between the joint angles. By reconstructing the angles from the latent space, the characteristics of patients can be analyzed and used for individualized patient care.

Key words: Stroke gait; unsupervised learning; variational autoencoders; joint angles

Abb. 1

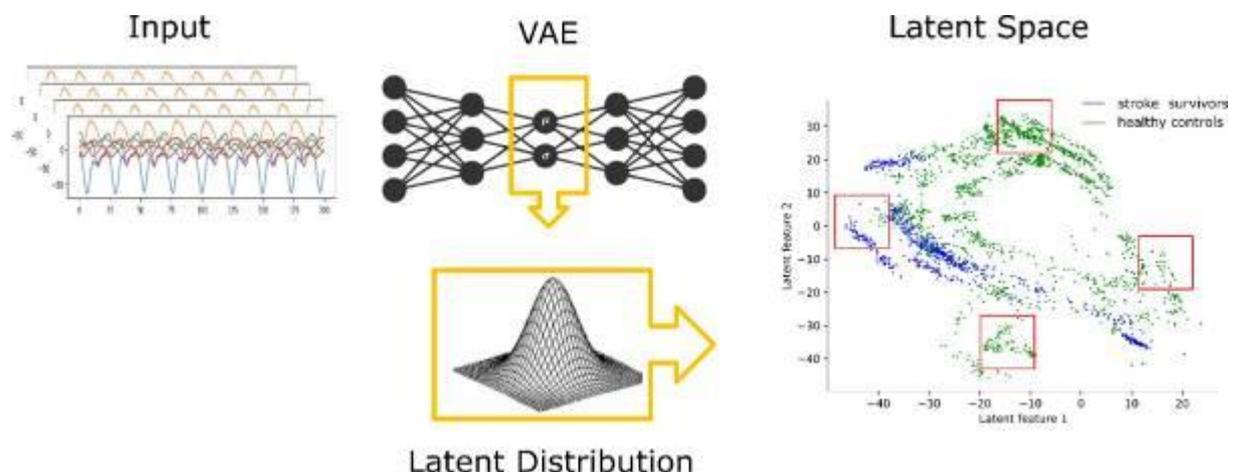


Figure 1: Methods.

Session 12 • Mechanobiologie

V76

HybridBone – Entwicklung eines biokeramischen Hybrid-Scaffolds zur Regeneration knöcherner Gesichtsschädeldefekte

S. Kurz (Leipzig/DE), B. Fischer (Leipzig/DE), M. Ahlhelm (Dresden/DE), E. Schwarzer-Fischer (Dresden/DE), R. Bader (Rostock/DE), A. Jonitz-Heincke (Rostock/DE), L. C. Ingwersen (Rostock/DE), K. Loger (Kiel/DE), H. Naujokat (Kiel/DE)

Fragestellung

Kraniofaziale Defekte werden meist mit autologen Knochentransplantaten rekonstruiert. Unzureichende Passform und erhebliche Erkrankung des Spendergewebes sind oft die Folgen. Im Projekt HybridBone entwickelt unser Konsortium ein Verfahren zur Herstellung biokompatibler, künstlicher Hybridimplantatstrukturen, um erstmals eine schonende, passgenaue und langzeitstabile Knochenregeneration zu ermöglichen.

Methoden

Ein initialer zylindrischer Fachwerk-Säulen-Hybrid wurde numerisch iterativ optimiert und dessen Trägerstruktur am Fraunhofer IKTS 3D-gedruckt sowie mittels Gefrierschäumen mit Hydroxylapatit ausgeschäumt. Nach Behandlung durch FORBIOMIT wurden die Scaffolds in vivo in Schweinekiefer implantiert. Im Folgeschritt wird ein größerer Kastendefekt im Schweinekiefer mit einem organischen Hybriddesign rekonstruiert. Die Stützstruktur des Implantats orientiert sich an den Belastungsbahnen des Schweinekiefers. In einem dritten Schritt soll auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse ein topologieoptimiertes Hybridimplantat für den humanen Kiefer entworfen werden.

Ergebnisse

Biologisch abbaubare und teilweise abbaubare individualisierte "Hybridknochen" wurden in vitro sowie in vivo getestet und zeigten erfolgreich ihr Potenzial. Ferner fand sich eine gute Biokompatibilität und bereits ein Abbau der künstlichen Gerüste innerhalb von drei Monaten bei gleichzeitigem Ersatz durch autologen Knochen an der gleichen Stelle.

Schlussfolgerung

Obwohl die Biokompatibilität gewährleistet zu sein scheint und die In-vitro-Studien vielversprechende Ergebnisse liefern, bleibt ein topologieoptimiertes Design der humanen Scaffolds in der dritten Phase eine Herausforderung. Das Potenzial des Hybrid-Knochengerüsts ist im Kiefer-Gesichtsbereich zum gegenwärtigen Entwicklungsstand nachgewiesen. In Zukunft soll das vorgestellte Verfahren auch auf andere knöcherne Bereiche übertragen werden.

Abb. 1



Abb 1 BMP-2-Behandlung, Implantation und Histologie in Phase 1

Abb. 2



Abb 2 Stützstruktur für Phase 2

The role of extrinsic and intrinsic outer-vascular mechanics on sprouting angiogenesis during early bone regeneration: an *in silico* study

C. Dazzi (Berlin/DE), J. Mehl (Berlin/DE), G. N. Duda (Berlin/DE), S. Checa (Berlin/DE)

Question

Sprouting angiogenesis is a key process in early bone regeneration. During sprouting, endothelial cells (ECs) are known to be sensitive and generate specific responses to local mechanical stimuli. Externally applied loads (extrinsic loads) impact tissue deformations and affect sprout patterning (Rosenfeld et al, Proc Natl Acad Sci USA, 2016). On a cell-cell communication level, ECs interact mechanically with stromal cells (SCs) through cell traction forces (intrinsic loads). How these two distinct mechanical cues impact angiogenesis during early bone regeneration remains largely unknown. Here we aim to investigate *in silico* the relative role of extrinsic and intrinsic mechanical signals on early sprout patterning.

Methods

Multi-scale computer models of mechanics-driven sprouting angiogenesis and SCs organization were developed to represent the healing region of a mouse osteotomy subjected to physiological loading and stabilized with a rigid or a semirigid fixator (Borgiani et al, J Bone Miner Res, 2019). Finite element models at the tissue scale, to compute mechanical strains, were iteratively coupled to agent-based models at the cell scale, describing ECs and SCs response to local mechanical cues (e.g. *durotaxis*).

Results

Vessel sprouts were predicted to align along preferential directions in agreement with dedicated *in vivo* experiments. Furthermore, under reduced mechanical stability (semirigid) a lack of sprouts was experimentally observed at the core of the osteotomy that was also predicted by the *in silico* analyses (Fig.1).

Conclusions

To our knowledge, this is the first *in silico* model of early sprout patterning comprising both cell intrinsic forces and extrinsic loads. Collectively, our results suggest that high extrinsic loads might overrule the mechanical communication on a cell-cell level. Future studies are needed to investigate the influence of further mechano-biological interactions.

Abb. 1

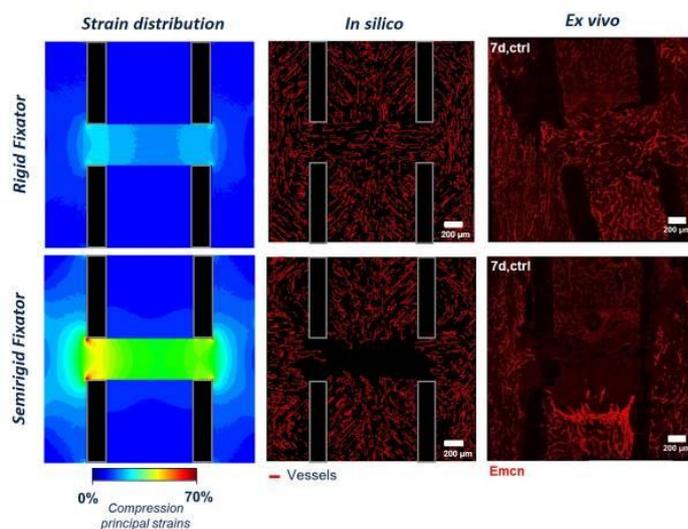


Figure 1: Healing region 7 days post-surgery. Emcn=Endomucin stained.

V78

Influence of magnesium WE43 fixation devices on the mechanobiology of mandibular fracture healing

V. Orassi (Berlin/DE), C. Rendenbach (Berlin/DE), S. Checa (Berlin/DE)

Question. Magnesium WE43 has been studied to overcome limitations with traditional titanium fixation in mandibular fracture treatment (Rendenbach et al., 2021). However, whether magnesium can mechanobiologically support mandibular bone healing remains to be clarified. This study aims to investigate the biomechanical conditions within a mandibular body fracture induced by traditional titanium and alternative magnesium devices and their effect on the mandibular bone healing process.

Methods. 3D finite element models (FEMs) of a mandibular body fracture (Fig. 1A), fixated with titanium, magnesium WE43, and PLA devices, were developed to quantify the strains within the healing region. A bone healing computer model was then developed coupling a simplified 2D FEM (Fig. 1B) and a 2D agent-based model (ABM) of the healing region. Iteratively, cellular migration, proliferation, differentiation, and apoptosis were simulated following previously described mechanoregulation rules (Claes LE, Heigele CA., 1999).

Results. Post-surgery, strains within the healing region induced by titanium, magnesium, and PLA fixation were between 0.9-1.1%, 1.8-3.0%, and 11.4-13.7%, respectively. At week 4, bone regeneration was predicted using titanium and magnesium devices, while fibrous tissue formation was predicted using PLA devices (Fig. 2).

Conclusions. Despite slightly inferior fixation stability, magnesium WE43 devices seem able to support the healing process by inducing an amount of new bone formation comparable to clinically-used titanium. Future studies will further develop the mandibular bone healing model aiming at the optimization of fixation devices.

Acknowledgments. EU Horizon 2020, InterLynk (grant agreement H2020-NMBP-TR-IND-2020, project ID 953169).

Abb. 1

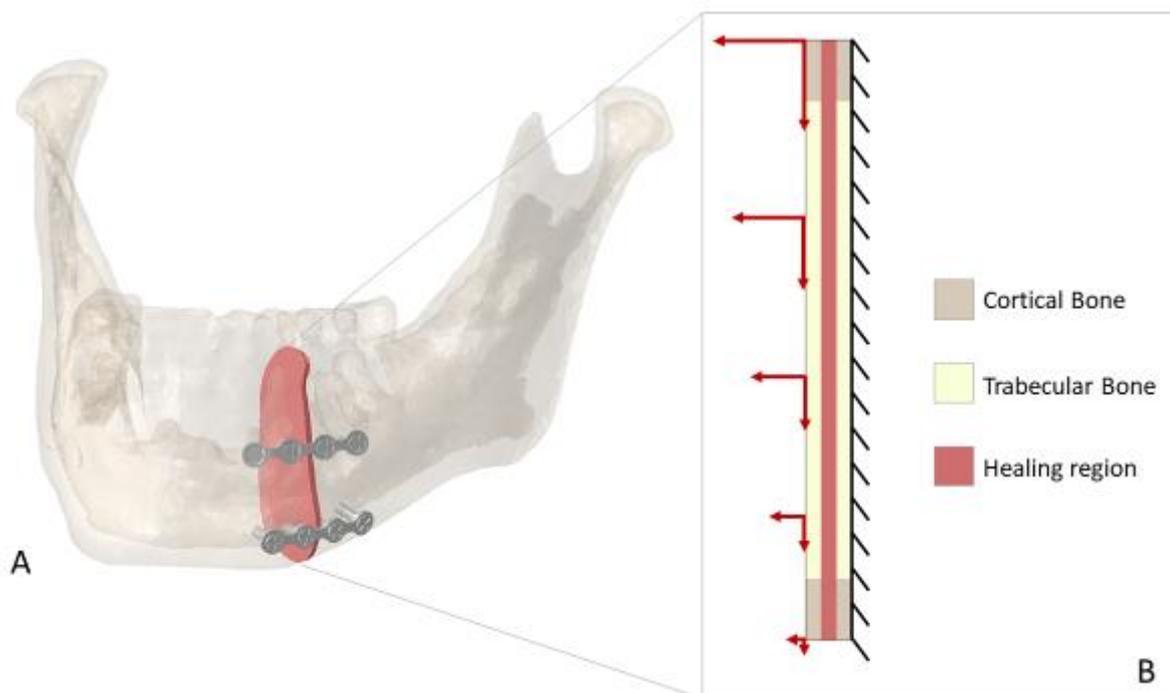


Fig. 1: (A) 3D FEM of the fractured mandible; (B) 2D FEM of the healing region where boundary conditions are derived from the 3D FEM.

Abb. 2

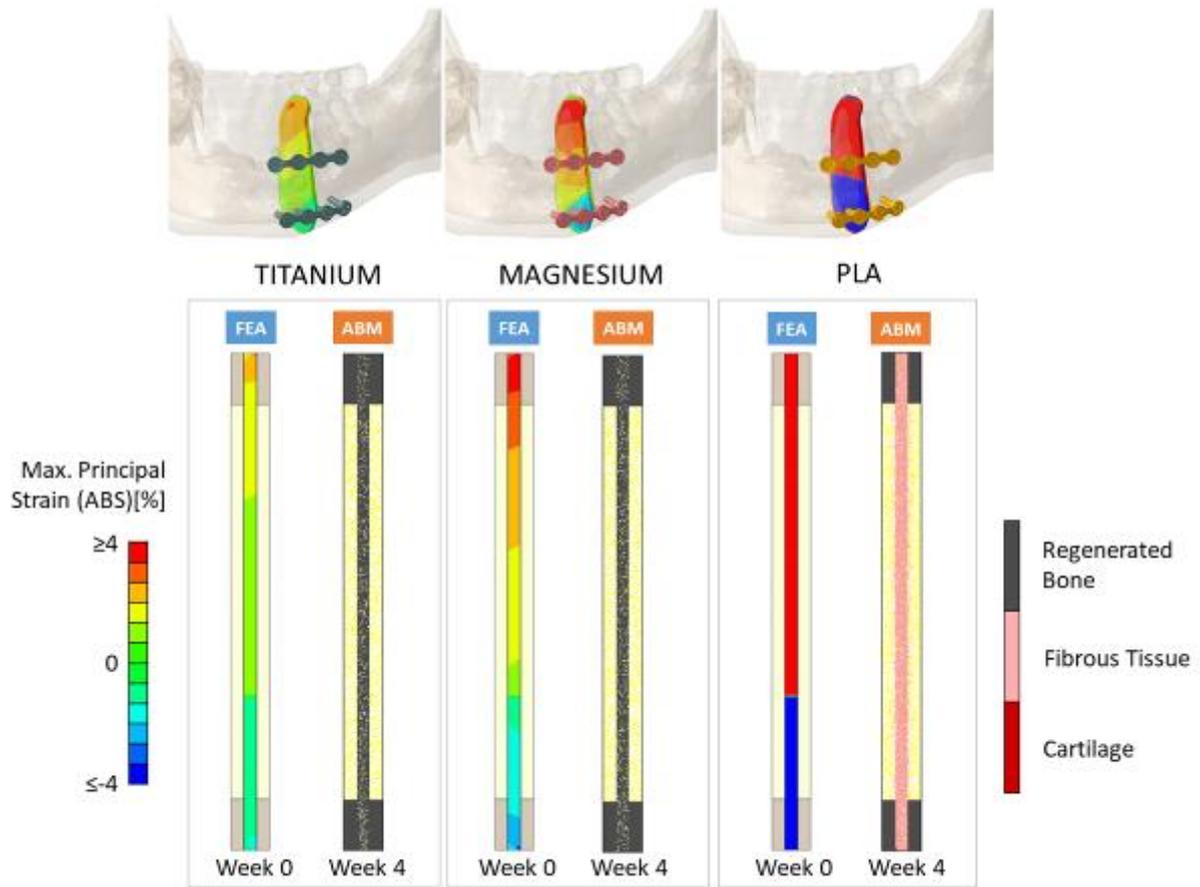


Fig. 2: Bone healing model predictions for the different materials.

V79

Serum cartilage biomarker concentrations in response to 5 days of immobilization in healthy female adults – first data from the Vivaldi study

M. Dreiner (Köln/DE), E. T. Godonou (Erlangen/DE), A. M. Liphardt (Erlangen/DE), A. Niehoff (Köln/DE)

Immobilization and unloading leads to changes in cartilage metabolism, which may initiate catabolic processes. First studies reported changes in cartilage biomarker concentrations in male study participants exposed to bed rest¹. However, the effect of immobilization on women through dry immersion (DI), which simulates a support-free environment, remains to be studied. Thereto, the purpose of the study was to investigate the effect of 5 days of immobilization by dry immersion on serum concentrations of cartilage biomarkers.

The "Vivaldi" study is part of a research program of the European space agency (ESA) and was conducted at the Institute de Médecine et de Physiologie Spatiales (MEDES) in Toulouse (France). Eighteen healthy female volunteers (29±5 years, 165±6 cm, 59±6 kg) underwent 4 days of baseline data collection (BDC), 5 days of DI and 3 days of recovery (R). During DI volunteers were immersed in a water tank for 24 hrs per day, limiting all movements and ground support. Fasting, venous blood samples were taken on 5 days: BDC-2, BDC-1, DI3, R+0 and R+2. We analyzed serum concentrations of COMP, TIMP-1 and TIMP-2 with commercially available ELISAs (one-way repeated measures ANOVA, LSD post-hoc test).

The serum COMP concentration was significantly reduced ($p<0.001$) at DI3 and R+0 compared to before (BDC-2 and BDC-1) and after (R+2) DI (Tab. 1). In addition, the serum TIMP-2 concentration was significantly lower ($p<0.05$) at DI3 and R+0 compared to BDC-1 and R+2. In contrast, the serum TIMP-1 level was significantly increased ($p<0.01$) at DI3 compared to all other time points.

All analyzed biomarkers responded to the immobilization through DI and were in the same range as previously reported for bed rest studies in male adults¹. The results suggest that even a short period of immobilization has significant effects on cartilage metabolism in female adults.

[1] Liphardt AM et al., J Orthop Res. 38:2373-2382, 2020

Tab. 1

Biomarkers	Blood samplings			
	BDC-1	DI3	R+0	R+2
COMP	100.0%	65.4 ± 13.1%*	61.8 ± 18.7%*	100.8 ± 24.5%
TIMP-2	100.0%	93.0 ± 8.1%*	94.1 ± 8.2%*	104.3 ± 8.1%
TIMP-1	100.0%	106.7 ± 7.6%*	97.9 ± 8.0%	92.2 ± 7.6%*

Table 1: Relative serum biomarker concentrations at different time points normalized to baseline level (BDC-1). Values are given as mean ± SD, N = 18.

* $p<0.05$ significantly different to baseline level

V80

Forced running exercise leads to an adaptation of the lateral tibia cartilage in COMP deficient mice

M. Weyers (Köln/DE), D. Mählich (Köln/DE), M. Dreiner (Köln/DE), B. Eckes (Köln/DE), A. Niehoff (Köln/DE)

Introduction

Although the mechanosensitive cartilage oligomeric matrix protein (COMP) provides matrix stability by connecting collagen II with extrafibrillar structures, COMP deficient (COMP^{-/-}) mice have a normal skeletal development compared to wildtype littermates¹⁻³. This study investigated the effect of forced running exercise on the lateral tibia cartilage (LTC) in COMP^{-/-} mice.

Methods

12-week-old female wildtype C57BL/6N (WT) and COMP^{-/-} mice³ were assigned to a control (CON) and a forced exercise (EXE) group (n= 10/group/genotype). The EXE group was trained for 6 weeks on a treadmill (20% incline, 20 m/min) for 40 min/day five times per week. At the age of 18 weeks the left hindlimbs were dissected. LTC degeneration was evaluated using a modified OARSI score^{4,5}. Immunohistochemical staining of matrix metalloproteinase 13 (MMP-13) and matrilin 1-4 was performed. Group differences were detected using the unpaired non-parametric Mann-Whitney-U-test.

Results

None of the groups showed LTC degeneration. The MMP-13 staining intensity was significantly (p<0.01) reduced in the central region of the LTC in the COMP^{-/-} EXE group. The matrilin-4 staining intensity showed a COMP-dependent reduction in the LTC, while in the tibial growth plate (GP) the deficiency of COMP led to reduced levels of matrilin-2,-3 and -4.

Discussion

Running exercise had no obvious macroscopic effects on the LTC in neither COMP^{-/-} nor WT mice. Exercise-dependent MMP-13 expression was detected in the central region of the LTC in COMP^{-/-} mice indicating altered local catabolic activity. The COMP-dependent expression of the matrilins in the LTC and GP identified COMP as an important binding partner of these matrilins.

References

¹Giannoni et al. *Biorheology* 40, 1-3: 101-9, 2003

²Blumbach et al. *Matrix Biol* 27: 306-318, 2008

³Svensson et al. *Mol Cell Biol* 22, 4366-4371, 2002

⁴Glasson et al. *Osteoarthritis Cartilage* 3: S17-23, 2010

⁵Wang et al. *Nat Med* 17: 1674-1679, 2011

V81

Konzept zum Tissue Engineering des vorderen Kreuzbandes auf Basis sticktechnisch hergestellter Scaffolds

J. Hahn (Dresden/DE), A. Breier (Dresden/DE), C. Elschner (Dresden/DE), C. Gögele (Nürnberg/DE), G. Schulze-Tanzil (Nürnberg/DE), M. Schröpfer (Freiberg/DE), M. Meyer (Freiberg/DE), G. Heinrich (Dresden/DE)

Obwohl körpereigene Transplantate (Autograft) den Goldstandard für die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (engl. anterior cruciate ligament, Abk. ACL) darstellen, bieten mittels Tissue Engineering generierte Strukturen die Möglichkeit, die Morbidität der Spenderstelle zu minimieren und der begrenzten Verfügbarkeit von Autografts zu begegnen.

Die vorliegende Studie zeigt die Entwicklung eines auf bioabbaubaren, polymeren Fadenmaterialien basierenden und mittels Sticktechnik hergestellten Scaffolds auf. Der Fokus liegt auf der Gestaltung eines dem nativen Gewebeübergang vom Ligament in den Knochen adaptierten triphasigen Gestickes, das zudem die biomechanischen Anforderungen eines ACL erfüllt.

Für die Scaffoldherstellung werden biokompatible und biologisch abbaubare Filamente aus Polylactid (PLA) oder Poly(lactic-co-ε-caprolacton) (P(LA-CL)) gewählt. Die Sticktechnik als textiles Herstellungsverfahren bietet einen großen Gestaltungsspielraum, sodass neben den mechanischen Eigenschaften auch die Porosität des Scaffolds, das Abbauverhalten und die zellbiologischen Erfordernisse durch die Wahl und Kombination verschiedener Filamente innerhalb eines Gestickes wesentlich beeinflusst werden können.

Im Rahmen der Studie wurden 3D-Scaffolds erfolgreich mittels Stickverfahren hergestellt und charakterisiert. Zudem konnte ein vergleichbares spezifisches Kraft-Dehnungsverhalten nativer ACL unter statischen und dynamischen Belastungszuständen in vitro gezeigt werden. In einer ersten in vivo Studie in Nacktmäusen zeichneten sich die Scaffolds nach 12 Wochen mit einer geeigneten Oberflächenfunktionalisierung durch ihre Formstabilität und hohe Zellviabilität aus. Perspektivisch soll die Entwicklung einer geeigneten Knochenverankerung der Gesticke im Fokus stehen, um den komplexen biomechanischen Anforderungen im Kniegelenk gerecht zu werden.

Abb. 1

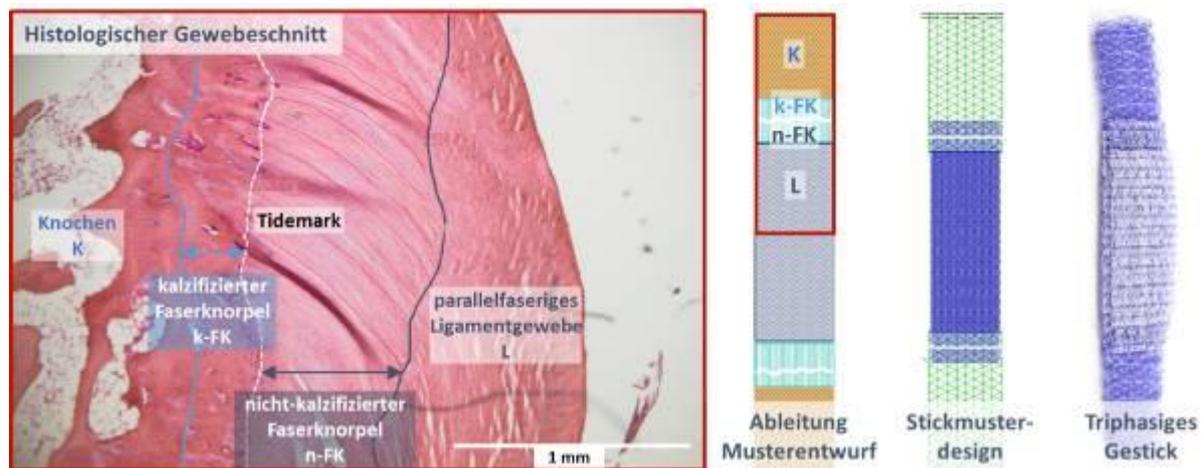


Abbildung 1: Zonale Dimensionierung eines Kaninchen-ACLs mit daraus abgeleitetem triphasigem Stickmusterdesign

Session 13 • Young-Investigator-Award

V82

Konzept Quantifizierung und Vorhersage der Dehnung der Patellarsehne bei Kniebeugen

K. Weidlich (Berlin/DE), T. Domroes (Berlin/DE), A. Schroll (Berlin/DE), F. Mersmann (Berlin/DE), A. Arampatzis (Berlin/DE)

Fragestellung Die Kniebeuge ist eine wichtige Übung zur Belastung der Patellarsehne in Training und Therapie, jedoch basieren individuelle Belastungsempfehlungen für die Sehne bisher auf dem Einwiederholungsmaximum (1RM). Zu der tatsächlichen Dehnung der Patellarsehne (ϵ), als Indikator der Beanspruchung des Gewebes, liegen bislang keine Informationen vor. Primäres Ziel der Studie war demnach die Quantifizierung der ϵ bei Kniebeugen in verschiedenen Stufen des 1RM; ein sekundäres die Vorhersage der individuellen ϵ bei Kniebeugen durch einfache Prädiktoren.

Methoden Bei 10 Kraftsportlern (31 ± 3 J., 173 ± 12 cm, 74 ± 15 kg) wurde die ϵ während Kniebeugen bei 40% (s40), 60% (s60) und 80% (s80) des 1RM mit Ultraschall gemessen und die Kniegelenkmomente durch inverse Dynamik bestimmt. Zusätzlich wurde die maximale ϵ bei maximal willkürlichen isometrischen Kontraktionen (iMVC) gemessen. Der Effekt der Laststufen wurde mit einem gemischt linearen Modell untersucht. Die individuelle ϵ bei der Kniebeuge wurde numerisch durch die maximale ϵ und die 1RM-Laststufen approximiert.

Ergebnisse Die ϵ während der Kniebeugen waren $4,7 \pm 1,0\%$ in s40, $6,3 \pm 1,2\%$ in s60 und $8,2 \pm 1,5\%$ in s80. Es gab einen signifikanten Einfluss der Last ($p < 0,001$) sowohl auf die ϵ als auch auf das Kniegelenkmoment. Die maximale ϵ während der iMVC betrug $10,3 \pm 2,0\%$ und stand in einem logarithmischen Zusammenhang mit der Dehnung in s40-, s60- und s80. Die Genauigkeit der Vorhersage der individuellen ϵ betrug 85,8%.

Schlussfolgerung Die Ergebnisse zeigen zum ersten Mal, dass die ϵ bereits bei Kniebeugen mit geringen (s40) bis mittelschweren Lasten (s60) im adaptionswirksamen Bereich liegt (4,5 bis 6,5%). Die hohe individuelle Variabilität zwischen der ϵ bei gegebener Laststufe lässt jedoch keine gezielte Steuerung der Beanspruchung anhand des 1RM zu. Die vorgeschlagene Vorhersage der individuellen ϵ bietet jedoch neue Möglichkeiten für die individualisierte Trainingssteuerung in der klinischen und sportlichen Praxis.

V83

Schaftgröße und -position beeinflussen das periprothetische Frakturrisiko bei unzementierten primären Hüftendoprothesen

T. Konow (Hamburg/DE), F. Lampe (Hamburg/DE), B. Ondruschka (Hamburg/DE), M. M. Morlock (Hamburg/DE), G. Huber (Hamburg/DE)

Fragestellung: Die chirurgische Erfahrung beeinflusst neben der Wahl der Schaftgröße und -position [1] das Risiko einer Schaftlockerung und periprothetischer Frakturen (PPF) [2]. Ziel war es, die Auswirkungen von Abweichungen von der optimalen Schaftgröße und -position auf das intraoperative PPF-Risiko zu untersuchen.

Methoden: Sechs erfahrenen Chirurgen bestimmten die Schaftgrößen (Corail, DePuy, US). Der Median wurde für jeden Femur als ideale Schaftgröße definiert. In 6 Femurpaaren wurden je zwei konsekutive Implantationen durchgeführt (entweder unterdimensioniert & ideal oder ideal & überdimensioniert). In 9 Femurpaaren wurde die ideale Größe in drei subjektiv bestimmten Ausrichtungen implantiert (6 varus, 6 neutral, 6 valgus). Das PPF-Risiko wurde anhand der Kortexdehnungen während des Implantationsprozesses mittels digitaler Bildkorrelation quantifiziert. Die erzielte Position des Implantats wurde mittels qCTs und Laserscans bestimmt.

Ergebnisse: Unterdimensionierte und ideale Schäfte verursachen vergleichbare Kortexdehnungen ($p = 0,99$). Überdimensionierte Schäfte zeigen im Vergleich zu idealen Schäften tendenziell höhere Kortexdehnung ($0,12 \pm 0,03\%$ vs. $0,04 \pm 0,02\%$; $p = 0,07$). Die Kortexdehnungen steigen mit größerem Implantat- zu Knochenquerschnitt Verhältnis ($R^2 = 0,27$, $p = 0,01$). Eine Varusstellung des Schaftes führt zu einem geringeren medialen kortikalen Abstand ($0,67 \pm 0,33$ mm vs. $2,48 \pm 0,30$ mm, $p < 0,01$) und somit höheren Kortexdehnungen ($R^2 = 0,36$, $p = 0,01$, Abb. 1).

Schlussfolgerung: Eine geringe Überdimensionierung hat hinsichtlich des PPF-Risikos keine Konsequenz, wenn eine lateralisierte Positionierung des Implantats, z.B. durch eine leichte Valgusstellung, erreicht wird. Eine Varusstellung reduziert den Abstand zum Kortex bei gleichzeitiger Erhöhung der Kortexdehnung und ist mit einem erhöhten PPF-Risiko verbunden.

Literatur: [1] Konow et al., ARTD 2022; [2] AOANJRR, 2017

Abb. 1

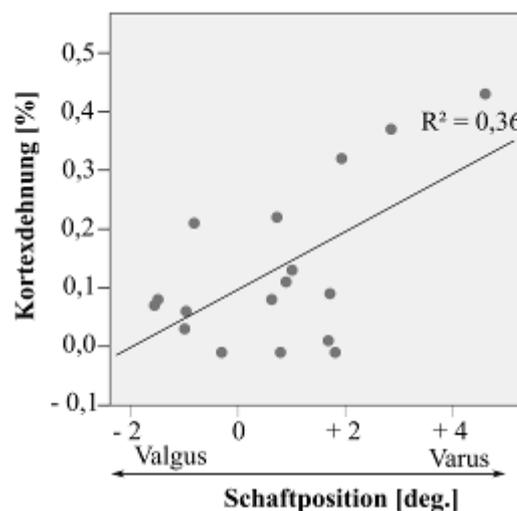


Abb. 1: Zunahme der Kortexdehnungen in varischer Schaftposition.

V84

Klinische Anwendung der mechano-biologischen Frakturheilungssimulation zur Prognose des Konsolidierungszustandes operativ versorgter diaphysärer Femurfrakturen

L. Engelhardt (Ulm/DE), F. Niemeyer (Ulm/DE), C. Degenhart (Ulm/DE), F. Gebhard (Ulm/DE), K. Schütze (Ulm/DE)

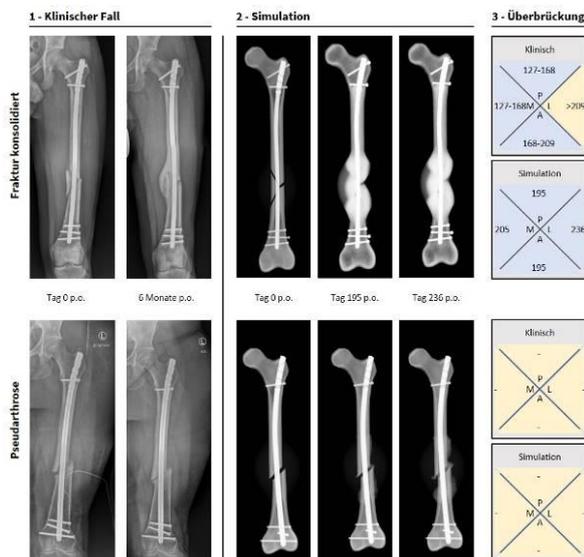
Trotz aller Fortschritte beträgt das Risiko einer ausbleibenden Konsolidierung bei der Behandlung von Frakturen 1,9-4,9 %. Eine prädiktive Einschätzung des Risikos von Komplikationen könnte ein frühzeitiges Eingreifen ermöglichen, bevor Patienten negativ betroffen sind. Ziel dieser Studie ist die erstmalig klinische Anwendung eines Simulationsmodells, um die Überbrückungszeitpunkte im Knochen zu prognostizieren.

Basierend auf biplanaren Röntgenaufnahmen p.o. von 28 Patienten mit geschlossenen diaphysären Femurschaftfrakturen, welche mittels Nagelosteosynthese versorgt worden waren, haben wir patientenspezifische 3D-Volumenmodelle rekonstruiert. Die individuelle Frakturversorgung wurde durch ein parametrisiertes Modell des Intramedullären Nagels nachvollzogen. Unter Annahme von auf das Körpergewicht adjustierter Vollbelastung wurde durch das etablierte Frakturheilungsmodell (Simon et al. 2011), das auf der bekannten Gewebedifferenzierungshypothese beruht (Claes et al. 1997), der individuellen Heilungsverlauf prognostiziert. Die simulierten Überbrückungszeitpunkte wurden anschließend mit den retrospektiven Verläufen verglichen.

Klinisch verheilten 23 der Frakturen komplikationslos. Bei 5 Patienten kam es zur einer Pseudarthrose. Die Simulation prognostizierte in 23 Fällen die Frakturüberbrückung an mindestens 3 Seiten des Knochens im Mittel nach 216 ± 77 Tagen. In den verheilten Fällen lag die Simulation im Zeitraum der nachgewiesenen radiologischen Konsolidierung. In den Fällen mit klinischer Pseudarthrose prognostizierte die Computersimulation korrekt keine Frakturheilung.

Die in der Studie erstmals klinisch angewendete Frakturheilungssimulation zeigt eine vielversprechende Qualität der Prognose der klinischen Konsolidierung. Damit ergibt sich das Potential die Simulation für die frühzeitige Detektion von Komplikationen, einschließlich Pseudarthrosen, anzuwenden. In Zukunft wird die Simulation auf größeren Fallzahlen und weitere Indikationen erweitert werden.

Abb. 1



V85

Teaching bionic limbs to walk using human demonstrations and neural networks

S. Dey (Göttingen/DE), A. F. Schilling (Göttingen/DE)

Introduction: Amputation and neuromuscular impairment impedes natural locomotion. To restore the missing functionality, powered prostheses/orthoses with embedded motors may be programmed to emulate the motion of a biological limb. However, this is challenging because human gait is a complex coordination of multiple limbs and joints across varying locomotion modes. Hence, pre-programming all the different locomotion scenarios is practically intractable. To predict the motion of the disabled limb based on the residual body motion of the patient, the programming strategy needs to incorporate how the inter-joint synergy in the human body functions.

Question: Can we approximate the complex biological synergy during gait with a neural network that learns from human demonstrations instead of explicit pre-programming?

Methods: We collected gait data from multiple human demonstrations including ground walking, stair and slope ambulation. We trained a gait-predictive model of ankle-joint motion, characterized by a regularized 3-layered neural network whose parameters were fully shared across multiple locomotion tasks. The output layer consisted of two heads, one for each output variable (angle & torque). The network learnt a joint representation of the different locomotion tasks without any locomotion descriptor or locomotion mode classification. This resulted in an end-to-end learning to directly predict the ankle-joint motion without needing any intermediate state information.

Results: The gait-predictive model predicted the ankle-joint motion for different locomotion modes with high accuracy (R^2).

Output	Level ground	Slope ascent	Slope descent	Stair ascent	Stair descent
Angle	0.97	0.95	0.93	0.89	0.98
Torque	0.98	0.97	0.98	0.93	0.92

Conclusion: The results show potential to develop biomimetic control strategies for powered prostheses/orthoses that can seamlessly adapt to multiple locomotion modes.

V86

Gyroid VS strut-like scaffolds for bone regeneration: An *in silico* comparative analysis of healing in large bone defects

M. Jaber (Berlin/DE), S. Checa (Berlin/DE), G. N. Duda (Berlin/DE)

Large bone defect treatment remains a clinical challenge. Different scaffold designs have been analyzed for their healing potential. Gyroid scaffolds have been discussed as a promising concept (Yoo et al., 2014). However, their regeneration potential remains poorly investigated. The aim of this study was to investigate the potential of gyroid scaffolds to support bone regeneration compared to strut-like scaffold designs.

An *in silico* approach was chosen to compare the bone regeneration within gyroid and strut-like scaffolds. The *in silico* models combined finite element analysis, to determine the mechanical environment within the scaffolds, and agent-based models to characterize biological processes taking place during bone regeneration. Previously, such models were able to explain bone regeneration within scaffolds (Perier-Metz et al., 2020).

Both, gyroid and strut-like scaffolds had the same overall geometry (Fig1). Scaffolds were virtually inserted into a computer model of a large bone defect in a rat femur, replicating a previously described experimental setup (Schwarz et al., 2013).

Initially, most of the tissue volume was under mechanical stimuli beneficial for bone formation within both scaffolds with the gyroid scaffold resulting in relatively large tissue volumes under mechanical signals beneficial for fibrous tissue formation. Healing outcome was considerably different between both scaffolds: while in the strut-like scaffold boney bridging was observed, void regions were observed within the gyroid scaffold (Fig2).

Our results show that bone regeneration is influenced by scaffold architecture agreeing with experimental studies showing different healing outcomes for different scaffold designs. Gyroid's scaffold large curvatures slowed down cell penetration resulting in slower healing dynamics and reduced bone formation. Future studies will investigate other scaffold designs effects and further validate computer models against experimental data.

Abb. 1

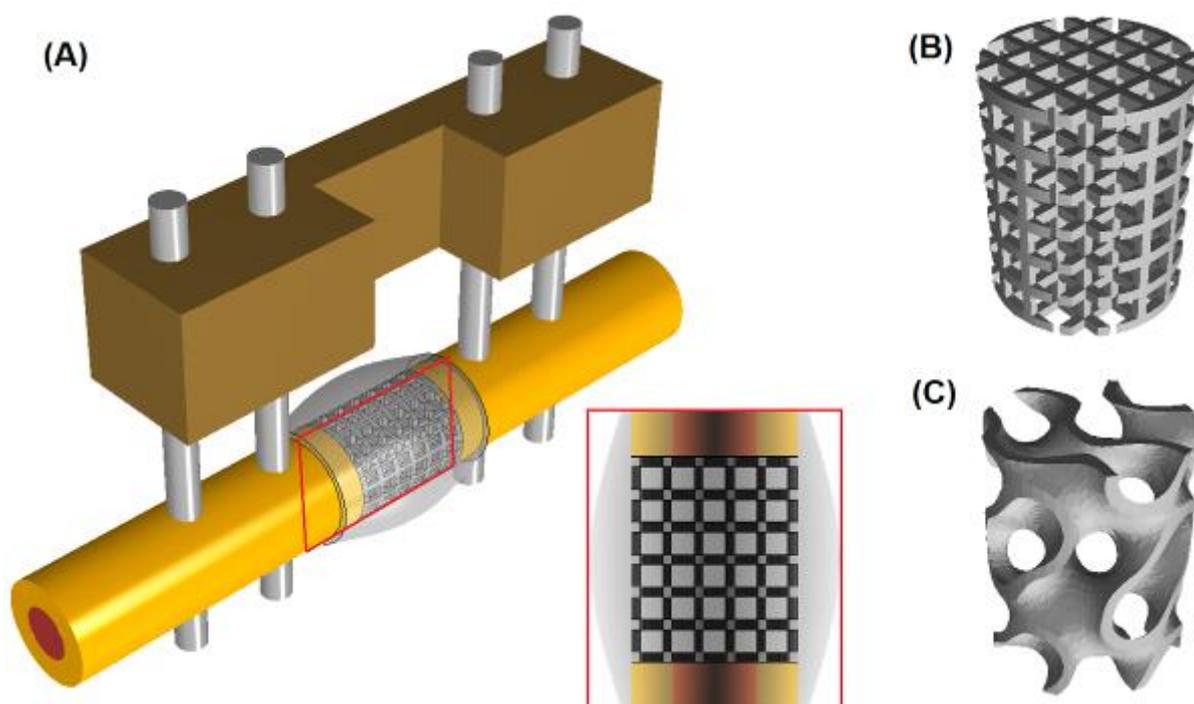
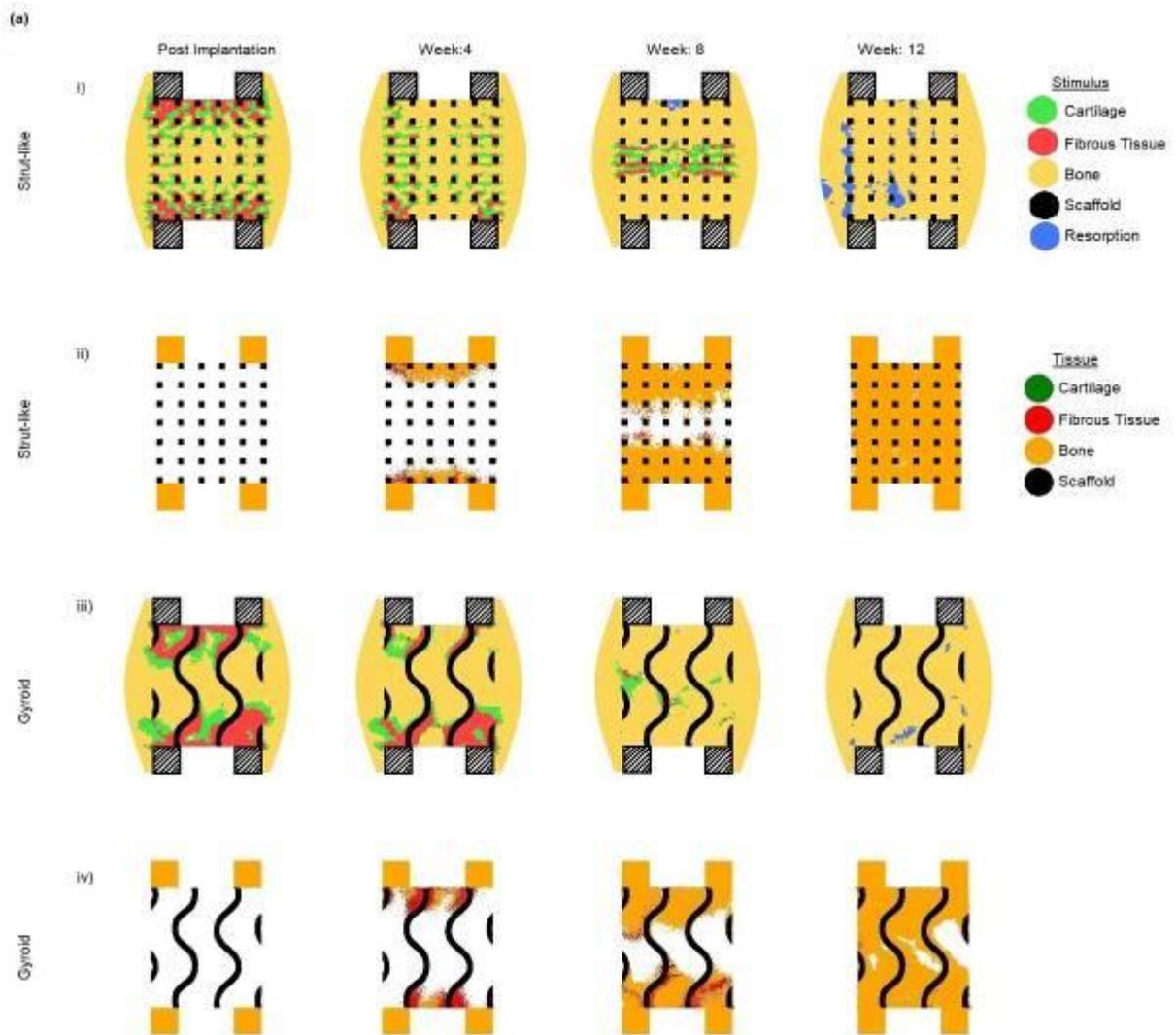


Abb. 2



V87

Tuning between muscle activation and tendon operating length facilitates energy output in triceps surae muscles during high walking speeds

M. Kharazi (Berlin/DE), S. Bohm (Berlin/DE), C. Theodorakis (Berlin/DE), A. Arampatzis (Berlin/DE)

Introduction:

The generated triceps-surae muscles (TSM) force is impaired due to its force-velocity relationship at walking speeds of ~ 2.0 m/s [1]. We investigated the Achilles tendon (AT) force and the mechanical work done at the ankle joint by the TSM with increasing walking speed. We hypothesized that decoupling between muscle and tendon would increase the muscular mechanical work despite lower muscle forces.

Methods:

In fifteen individuals, we measured the electromyographic activity (EMG) of the TSM during walking at speeds of 0.7 m/s (slow), 1.4 m/s (preferred), 2.0 m/s (transition) and maximum walking speed (2.6 ± 0.3 m/s). We measured the length of the AT during walking with a combination of ultrasound and motion capture and using the individual AT force-elongation relationship we assessed AT force and strain energy during the walking trials [2]. Finally, we investigated the mechanical work by the gastrocnemius medialis muscle-tendon-unit (GM-MTU).

Results:

We found a decrease ($p < 0.05$) in the maximum AT force in the two higher speeds compared to the preferred one. With increasing speed, the net mechanical work of the TSM increased significantly ($p < 0.001$). In the higher walking speeds, a rapid increase in the EMG-activity of the TSM initiates muscular energy gain despite a continued elongation in AT. The rapid increase of the GM activity in the two higher speeds causes a shortening in the muscle belly while the tendon is elongated.

Conclusion:

We found for the first time that at walking speeds higher than the preferred, muscular work of the TSM provides a higher contribution than the AT energy recoil to the needed mechanical work. A decoupling between tendon and muscle belly resulted in an earlier muscular energy gain, increasing the net muscle belly and MTU mechanical work.

1. Farris et al., PANS. 2012
2. Kharazi et al., Sci. Rep. 20

Abb. 1

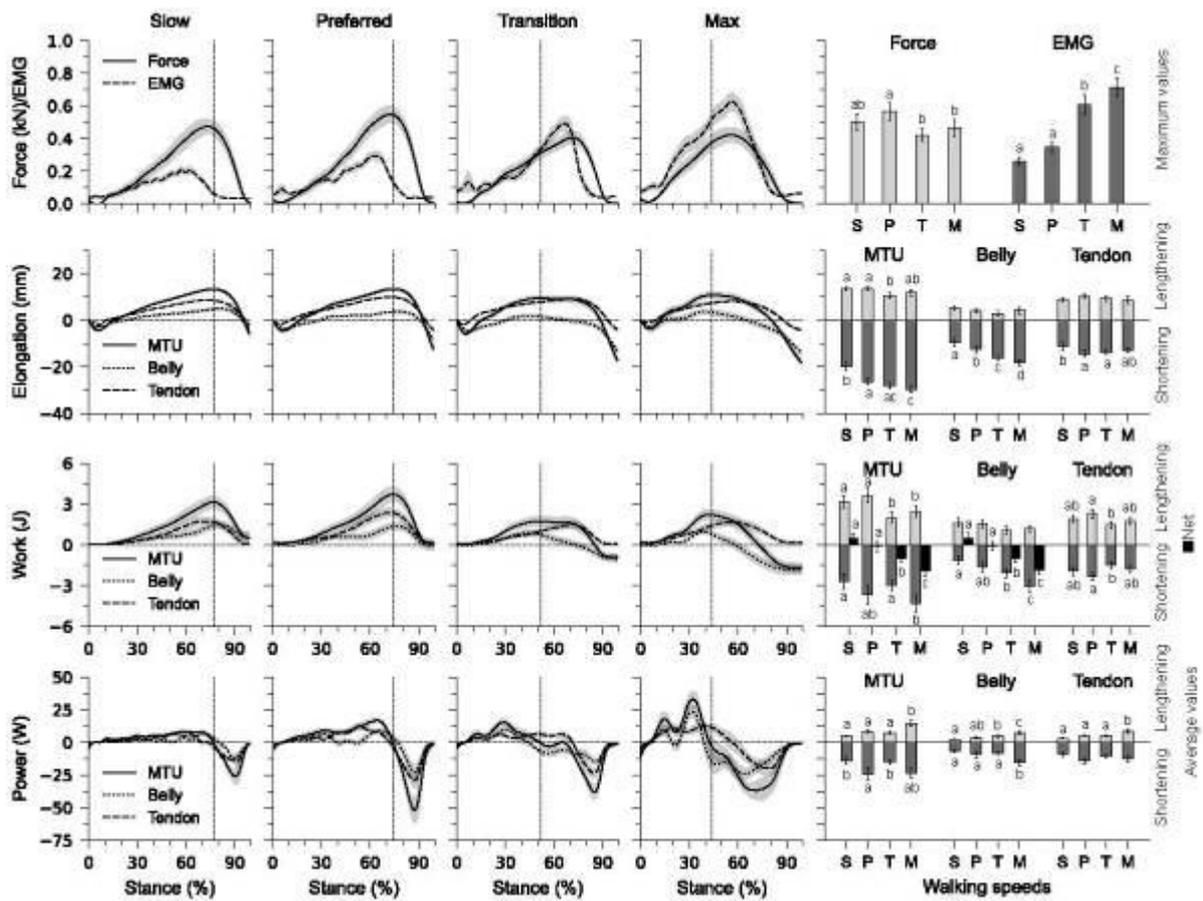


Fig1.Slow (0.7m/s;S), preferred (1.4m/s;P), transition (2m/s;T) and maximum walking(2.6±0.3 m/s;M) as mean±standard errors.

V88

Kniegelenkmomente können mediale und laterale Kniekontaktkräfte bei jungen Patienten:innen mit Valgusfehlstellung akkurat widerspiegeln

J. Holder (Frankfurt a. M./DE), S. van Drongelen (Frankfurt a. M./DE), S. D. Uhlrich (Stanford, CA/US, Palo Alto, CA/US), E. Hermann (Frankfurt a. M./DE), A. Meurer (Frankfurt a. M./DE), F. Stief (Frankfurt a. M./DE)

Fragestellung: Eine pathologische Kompressionsbelastung im Kniegelenk hängt mit der Entstehung und dem Fortschreiten von Kniearthrose zusammen [1,2]. Aufgrund der komplexen Berechnung der Gelenkkontaktkräfte wird die Gelenkbelastung bei der instrumentellen Ganganalyse durch externe Knieadduktionsmomente beurteilt. Aus diesem Grund stellte sich die Forschungsfrage, ob bei jungen Patienten:innen mit Valgusdeformität die Kniegelenkkontaktkräfte anhand von Kniegelenkmomenten während des Gehens berechnet werden können?

Methoden: Für einen Datensatz von 50 Patienten:innen (13 Jahre) mit pathologischer Valgusdeformität wurden linear gemischte Modelle zur Vorhersage der medialen/lateralen Kniekontaktkräfte durch die Kniegelenkmomente der sagittalen/frontalen Ebene ermittelt. Hierbei wurden sowohl die Kniegelenkmomente als auch die Kniekontaktkräfte mittels OpenSim berechnet und die Maxima in der ersten/zweiten Hälfte der Standphase für die statistischen Modelle verwendet [3].

Ergebnisse: Die statistischen Modelle ermittelten eine sehr gute Vorhersagekraft ($R^2 > 0,89$; $p < 0,001$) für die medialen/lateralen Kniegelenkkontaktkräfte durch die Verwendung der Kniegelenkmomente sowohl aus der sagittalen als auch aus der frontalen Ebene (Tabelle 1).

Tabelle 1: Statistische Zusammenfassung der linear gemischten Modelle zwischen den Kniekontaktkräften und den Kniegelenkmomenten der sagittalen/frontalen Ebene.

Schlussfolgerungen: Die linear gemischten Modelle zeigen, dass nicht nur das Knieadduktionsmoment zur Beurteilung der Kniegelenkkontaktkräfte herangezogen werden sollte, sondern auch das Knieflexion-/extensionsmoment. Durch die gute Vorhersagekraft dieser statistischen Modelle können bei dieser Patientengruppe Kniegelenkkontaktkräfte unter Verwendung von Kniegelenkmomenten indirekt bestimmt werden, wodurch sich zeitaufwändige muskuloskelettale Simulationen erübrigen.

Referenzen:

1. Andriacchi(2006);Curr Opin Rheumatol;18(5)
2. Miyazaki(2002);Ann Rheum Dis;61(7)
3. Uhlrich(2021);bioRxiv

Abb. 1

Abhängige Variable	Fester Effekt	Koeffizient	Standardfehler	t-Wert	Freiheitsgrade	p-Wert	Unterer 95 % Konfidenzintervall	Oberer 95 % Konfidenzintervall	Angepasstes R ²	Root Mean Squared Error	Root Mean Squared Error [%]
Mediale Kontaktkraft (1. Hälfte)	Intercept	1,411	0,049	29,009	417	< 0,001	1,315	1,506	0,90	0,14	7,01
	Knieadduktionsmoment	2,187	0,166	13,206	417	< 0,001	1,861	2,513			
	Knieflexionsmoment (quadrant)	0,551	0,073	7,513	417	< 0,001	0,407	0,695			
Mediale Kontaktkraft (2. Hälfte)	Intercept	1,202	0,054	22,272	417	< 0,001	1,096	1,308	0,96	0,13	6,0
	Knieadduktionsmoment	3,012	0,228	13,184	417	< 0,001	2,563	3,462			
	Knieextensionsmoment (quadrant)	4,158	0,209	19,863	417	< 0,001	3,747	4,570			
Laterale Kontaktkraft (1. Hälfte)	Intercept	1,544	0,044	35,012	417	< 0,001	1,457	1,630	0,89	0,15	10,3
	Knieadduktionsmoment	-1,559	0,162	-9,649	417	< 0,001	-1,876	-1,241			
	Knieflexionsmoment (quadrant)	1,498	0,117	12,819	417	< 0,001	1,269	1,728			
Laterale Kontaktkraft (2. Hälfte)	Intercept	1,754	0,042	41,818	417	< 0,001	1,671	1,836	0,95	0,10	6,8
	Knieadduktionsmoment	-2,176	0,135	-16,146	417	< 0,001	-2,441	-1,911			
	Knieextensionsmoment (quadrant)	0,454	0,141	3,218	417	0,001	0,177	0,731			

V89

The influence of plastin 3 on mechanotransduction in articular cartilage

D. Mählich (Köln/DE), I. Maus (Köln/DE), M. Dreiner (Köln/DE), M. Weyers (Köln/DE), B. Wirth (Köln/DE), A. Niehoff (Köln/DE)

Purpose

Plastin 3 (PLS3) is a ubiquitously expressed actin-binding and -bundling protein, which influences F-actin dynamics affecting cellular processes such as mechanotransduction¹. Recently, it has been reported that the PLS3 level correlates with the degree of cartilage degeneration in human osteoarthritis (OA) and we could show that the protein is predominantly located at the force-facing joint side in articular cartilage².

The aim of the present study was to investigate the impact of different PLS3 levels on the chondrocyte's response to mechanical loading.

Methods

We isolated chondrocytes from knee joints of newborn C57BL/6N (WT), PLS3 knock-out (*Pls3KO*)³ and PLS3 overexpressing (*PLS3OE*)⁴ mice to analyze F-actin structures under unloaded control conditions and mechanical stimulation using the FX3000 Flexcell system. Cyclic tensile strain of 6 % was applied for 30 minutes on three consecutive days. F-actin structures and effects on the ECM were evaluated by immunofluorescence and immunoblotting.

Results

An increased PLS3 intensity was seen in chondrocytes of both WT and *PLS3OE* mice after stretching. The F-actin level was reduced in both *Pls3KO* ($p < 0.05$) and *PLS3OE* cells upon mechanical stimulation but no alterations were seen in WT cells. In addition, a reduction in procollagen levels in *PLS3OE* and *Pls3KO* ($p < 0.05$) following mechanical loading was detected.

Discussion

Different PLS3 levels seem to affect the F-actin dynamics under mechanical stimulation. During OA pathogenesis this might not only influence mechanotransduction but also transport processes and cell stiffness resulting in an increased catabolic phenotype.

Acknowledgment

This project is funded by German Research Foundation (DFG project no. 407176282/FOR 2722).

References

¹Wolff et al.(2021).Cell Mol Life Sci 78(13):5275-5301.

²Mählich et al.(2021).Int J Mol Sci 22(6),3073.

³Neugebauer et al.(2018).Hum Mol Gen 27(24),4249-62.

⁴Ackermann et al.(2013).Hum Mol Genet 22(7),1328–47.

Session 14 • Messmethodik

V90

IMU und optisches Tracking im zeitkontinuierlichen Vergleich während multiplanarer Bewegungen der manuellen Lastenhandhabungen

O. El-Edrissi (St. Augustin/DE), J. Hill (St. Augustin/DE), J. Johns (St. Augustin/DE), K. Heinrich (St. Augustin/DE)

Einleitung

Bewegungserfassungssysteme auf Basis von Inertialsensoren (IMU) etablieren sich derzeit als vielversprechende und messvolumenunabhängige Alternativen zu markerbasierten optischen Systemen. 3D-Gelenkwinkelabweichungen zwischen beiden Verfahren wurden bisher zeitkontinuierlich vorrangig für planare, in der sagittalen Ebene stattfindende, Bewegungen quantifiziert (1). Diesen Ansatz auf multiplanare Bewegungen aus dem arbeitstypischen Kontext der manuellen Lastenhandhabung zu erweitern ist Ziel dieser Arbeit.

Methodik

14 Versuchspersonen (7 weiblich, 7 männlich, $27,6 \pm 4,6$ Jahre, $71,0 \pm 10,2$ kg, $175,8 \pm 9,1$ cm) führten 27 multiplanare und planare Lastenhandhabungen durch. Die Körperbewegungen wurden mit einem optischen 12 Kamera System (Vicon), unter Verwendung eines anatomischen Markersets, und einem IMU basierten Ganzkörpersystem (Xsens MTw Awinda) synchron aufgezeichnet. Die 3D Gelenkwinkel der tätigkeitsrelevanten Hauptgelenke wurden für beide Datensätze mit identischen digitalen Menschmodellen (OpenSim) ermittelt. Die Winkel-Zeit-Verläufe wurden mit Statistical Parametric Mapping verglichen sowie der Root-Mean-Square-Error für alle Bewegungsebenen berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

In Übereinstimmung mit der Literatur (2) wurden bei multiplanaren Bewegungen im Mittel die höchsten und geringsten Übereinstimmungen in der Sagittal- / Frontalebene (RMSE: $6,6 \pm 2,9^\circ$ / $5,3 \pm 2,6^\circ$) respektive in der Transversalebene (RMSE: $10,8 \pm 3,3^\circ$) hinsichtlich der Gelenkwinkel-Zeit-Verläufe der unteren Extremitäten gefunden. Die höheren RMSE in der Transversalebene deuten auf eine schlechtere Abbildung multiplanarer Bewegungen durch das IMU System hin. Ergebnisse der oberen Extremitäten und zeitkontinuierliche Analysen folgen.

Literatur

(1) Mundt et al. (2019). Journal of Biomechanics, **84**, 81-86.

(2) Robert-Lachaine et al. (2017). Med Biol Eng Comput, **55**, 609-619.

V91

Validierungsmethode für am Körper angebrachte Sensorbefestigungen

K. Schmidt (Steinfurt/DE), D. Hochmann (Steinfurt/DE)

Inertiale Messsysteme für die mobile Ganganalyse unterscheiden sich in der Anzahl, Platzierung und Anbringungsart der Sensoren. In früheren Studien lag der Fokus der Validierung auf der Genauigkeit der erfassten Bewegung und der ermittelten Gangparameter im Vergleich mit einem Referenzsystem. Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses der Befestigung fehlen dagegen bisher. Daher ist das Ziel dieser Studie, eine Methodik zur Validierung verschiedener Befestigungsarten und Segmentplatzierungen zu entwickeln und geeignete Bewertungsparameter vorzuschlagen.

Gegenstand der vorliegenden Studie ist die zuvor entwickelte Klebe- und Gurtbefestigung (Abb. 1a) sowie die frontale und laterale Sensorpositionierung am Unter- und Oberschenkel. Die Positionserfassung der Befestigungen und Körpersegmente erfolgt mit einem markerbasierten optischen System während verschiedener Bewegungsausführungen.

Um geeignete Validierungsparameter abzuleiten, wird die relative Abstandsänderung zwischen den Befestigungs- und Segmentpositionen berechnet und analysiert. Bei den Parametern wird zwischen der relativen und der detektierbaren Verschiebung unterschieden (Abb. 1b). Erstere gibt das Maß für die Höhe der Verschiebung an, wogegen die detektierbare Verschiebung die Genauigkeit des angewendeten Messsystems in Form der Residuen berücksichtigt. Dies ermöglicht eine Aussage über das Auftreten und die Dauer einer nachweislichen Verschiebung. Die Ergebnisse für das ebene Gehen sind exemplarisch in Abbildung 2 dargestellt.

Die Studie beweist die Eignung des eingesetzten Messsystems und der ausgewählten Parameter für die Validierung von am Körper angebrachten Sensorbefestigungen. Die Studie wird jedoch durch den geringen Stichprobenumfang limitiert. Weitere Untersuchungen sind nötig, um die statistische Gültigkeit der Ergebnisse zu prüfen.

V92

Vorhersage der Bodenreaktionskräfte während Gangzyklus aus den Gelenkwinkeln durch maschinelles Lernen

M. E. Özates (Istanbul/TR), S. I. Wolf (Heidelberg/DE), Y. Z. Arslan (Istanbul/TR)

Fragestellung: Die Messung oder Berechnung der Gang-Kinetik erfordert einen hohen Aufwand im Labor oder komplexe muskuloskelettale Modelle. In dieser Studie zielen wir darauf ab, die Bodenreaktionskräfte von gesunden Probanden anhand kinematischer Zeitreihen vorherzusagen.

Methoden: Ein lineares Regressions- und ein mehrlagiges Perzeptron-Modell werden durch ähnlich wie Wolf et al. [1] extrahierte Merkmale der kinematischen Zeitreihen trainiert, die von 35 gesunden Probanden beim Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit gesammelt wurden.

Ergebnisse: Das lineare Regressionsmodell und das mehrlagige Perzeptron-Modell erreichten einen durchschnittlichen Korrelationskoeffizienten von 0.89 bzw. 0.92 für getrennte Testdaten von 11 gesunden Probanden.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse zeigen, dass die Vorhersagemodelle in der Lage sind, die Bodenreaktionskräfte erfolgreich vorherzusagen und so vielversprechend für die Vorhersage der Kinetik des Gangs sind. Die erfolgreiche Anwendung dieses Arbeitsablaufs wird die Ganganalyse erleichtern, da weniger Aufwand im Labor erforderlich wird und keine komplexen muskuloskelettalen Modelle benötigt werden. Wir haben festgestellt, dass mehrlagige Perzeptron-Modelle für die Vorhersage der Bodenreaktionskräfte von Vorteil sind.

Referenzen:

[1] Wolf, Sebastian, et al. "Automated Feature Assessment in Instrumented Gait Analysis." *Gait & Posture* 23.3 (2006): 331-338.

V93

Determining heel center using functional calibration algorithms

F. Salami (Heidelberg/DE), M. Götze (Heidelberg/DE), J. Leboucher (Heidelberg/DE), S. Campos (Heidelberg/DE), S. Hagmann (Heidelberg/DE), S. I. Wolf (Heidelberg/DE)

Research Question: Over decades different models were proposed for gait analysis in which foot was modelled as a rigid segment. Is it possible to determine heel center using functional calibration algorithm, involving soft tissue interaction?

Methods: Prospective data of 3 healthy female adults [6 feet; Age:24.3±0.8(yrs); Height:1.70±0.08(m); Weight:57.6±5(kg)] were collected according to the HFMM [1] for an ongoing study. Heel is modelled as a sphere defined using three hindfoot markers (medio-lateral calcaneus and heel markers, Fig.1.A). The sphere includes bony (inner area) and soft tissue (outer area) parts with the radius as the height of the heel center to the ground (Z_0) (Fig.1.B). The functional calibration trial is defined as a circular motion of foot around the heel in standing while it is contacting with ground (Fig.1.C). The Schwartz algorithm [2] determined the rotation center between the heel and the ground, as a stationary segment interacting with foot (Fig.1.D).

Results: The averaged maximum heel pad deformation under the load in the vertical direction (δZ in Fig.1.D) is -4.9 ± 3.1 (mm). The functional calibration motion residual is 0.5 ± 0.2 (mm). The deviations in the X and Y directions from the primary sphere center (X_0, Y_0) are -8.3 ± 3.7 (mm) and -1.3 ± 4.5 (mm).

Discussion: The heel center is located posteriorly, medially and inferiorly in relation to the primary heel center. It seems functional algorithm can reasonably estimate the heel pad vertical deformation. The results are slightly higher than reported in [3]. Applying functional algorithm is a more feasible approach compared to imaging techniques in order to investigate the heel-ground interaction and to determine the heel center. The determined heel center could be used to define coordinate system of the hindfoot.

References

1. Simon, J. et al. G&P 23.4 (2006):411-424.
2. Schwartz, M. H., and Rozumalski, A. J. Biome. 38.1 (2005):107-116.
3. Gefen, A. et al. J. Biome. 34.12 (2001):1661-1665.

Abb. 1

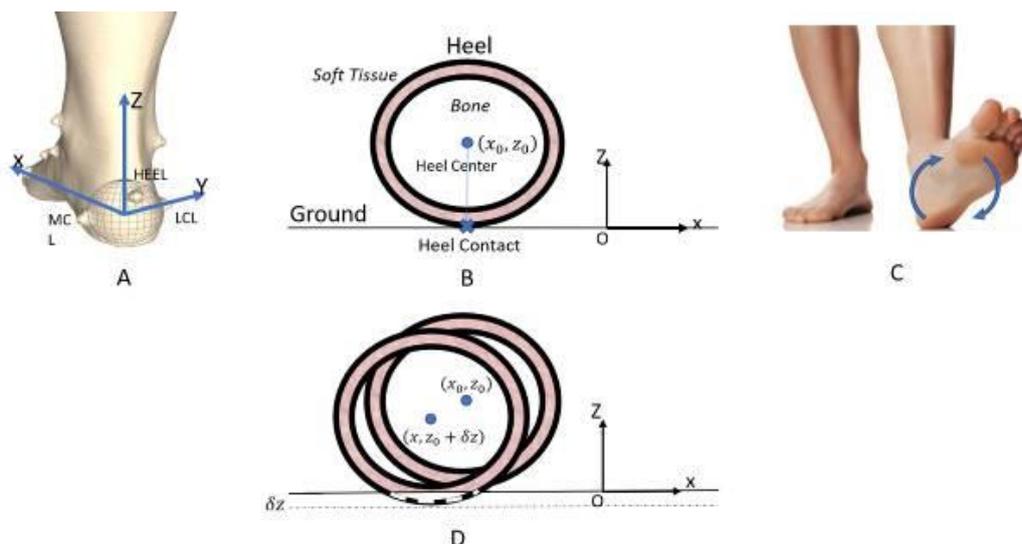


Fig.1 A: Defining a sphere in Heel using mediolateral calcaneus and heel markers (MCL, LCL and HEEL). B: Sagittal view of Sphere includes Boney bony and soft tissue parts. C: The functional calibration motion defined as a circular motion of foot around the heel. D: Interaction of the heel with the ground where the heel pad is flattened under the load around the contact point. δz is the maximum amount of vertical deformation during functional calibration motion.

Fragestellung

Die Analyse von Kinematikdaten des Knies aus verschiedenen Quellen setzt die Verwendung standardisierter Definitionen und Berechnungskonventionen voraus. Während für verschiedene zugrundeliegende mathematische Definitionen exakte Umrechnungen existieren, ist die Standardisierung der Koordinatensysteme und deren exakte Ausrichtung noch immer herausfordernd.

Methode

Sechs Kinematikdatensätze für ebenes Gehen [1] wurden auf einem etablierten Kniegelenkssimulator (VIVO, AMTI, Watertown, MA) aufgebracht und zeitgleich mit Beschleunigungssensoren aufgezeichnet. Für die daraus resultierenden Rotationsdaten wurde anschließend die Orientierung der tibialen und femoralen Koordinatensysteme mithilfe eines mathematischen Optimierungsverfahrens standardisiert.

Ergebnisse

Der RMSE als Maß für die Abweichungen der Kurven von Adduktion/Abduktion und interne/externe Rotation reduziert sich von $0.79 \pm 0.30^\circ$ auf $0.29 \pm 0.30^\circ$ durch Rotation der Koordinatensysteme um $3.32 \pm 1.24^\circ$ um die zugehörige Schraubenachse. Wie in Abb. 1 zu sehen ist, können sich durch die Neuorientierung der Referenzsysteme sowohl die Höhe als auch die Charakteristik der Kurven grundlegend verändern.

Schlussfolgerung

Sehr kleine Änderungen der Ausrichtung der zugrundeliegenden Koordinatensysteme können große Unterschiede in den Kinematikdaten hervorrufen. Dieser Effekt sollte beim Herausarbeiten von Unterschieden zwischen Gangmustern unbedingt berücksichtigt werden, um auszuschließen, dass gefundene Differenzen auf solchen Ausrichtungsfehlern der Achsen beruhen.

Referenzen

[1] P. Schütz, B. Postolka, H. Gerber, S.J. Ferguson, W.R. Taylor, R. List, Knee implant kinematics are task-dependent, J. R. Soc. Interface 16 (2019) 20180678. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0678>.

Abb.

1

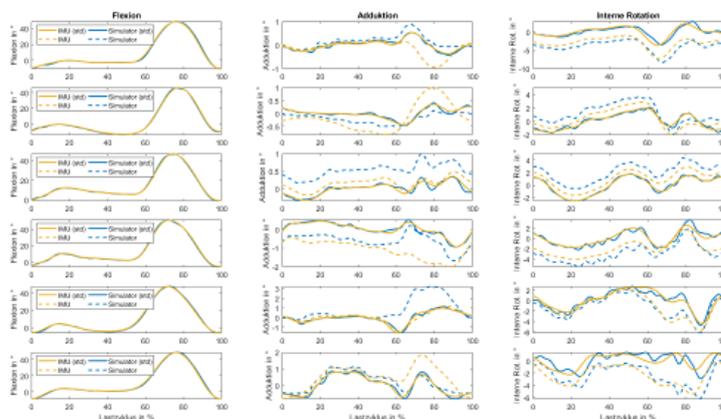


Abbildung 1: IMU-Daten (gelb) und Simulatordaten (blau) vor (durchgehend) und nach (gestrichelt) der Standardisierung der Achsausrichtungen.

V95

Vorhersage von Bodenreaktionskräften während des Gehens unter Verwendung von kinematischen IMU-Daten und neuronalen Netzen

E. Jakubowitz (Hannover/DE), M. Gustav (Hannover/DE), A. Hobein (Hannover/DE), H. Windhagen (Hannover/DE), C. Gempfer (Hannover/DE)

Fragestellung: Zur Vorhersage von Bodenreaktionskräften (GRF) mittels Inertial Measurement Units (IMUs) bieten künstliche neuronale Netze (KNN), wie das Feed Forward (FF) und das Long Short-Term Memory (LSTM) vielversprechende Ergebnisse für laborungebundene Ganganalysen [1-3].

Methoden: 12 gesunde Probanden (P) (m:f = 7:5; Alter: $26,5 \pm 2,7$ Jahre) wurden mit dem Plug-In-Gait und 10 IMUs ganganalytisch gemessen (Abb. 1). Zum Training des FF und des LSTM wurden die Beschleunigungen (ACC) der IMUs als Merkmale verwendet (18 Features) und die GRF als Labels. Es wurden 440 Schritte (12 Probanden x 2 Beine x 20 Versuche) genutzt und eine 5-fach-Kreuzvalidierung durchgeführt. Die Daten wurden als Echtzeit-Gangzyklus (rt) und als zeitnormalisierte Standphase (tn) getestet. Die Leistungen der KNNs wurden mit dem Pearson-Korrelationskoeffizienten r und dem mittleren quadratischen Fehler (RMSE) quantifiziert.

Ergebnisse: Mit r zwischen 0,83 und 0,99 waren sowohl das FF- als auch das LSTM-Netzwerk in der Lage, die GRF unter Verwendung der ACC von rt oder tn vorherzusagen (Abb. 2). Die ant.-post. (a-p) und vertikalen (v) Komponenten (K) zeigen hohe Korrelationen ($r \geq 0,94$). Beide KNN schnitten besser bei den rt ab ($r = 0,90-0,99$). Beim RMSE zeigten sich niedrigere Werte für die vK und die a-pK bei rt und tn für das LSTM. Bei der medio-lateralen (m-l) K niedrigere RMSE mit dem FF.

Schlussfolgerungen: Die Gangkinetik kann aus rt IMU-Daten mit dem FF- und dem LSTM vorhergesagt werden. Das LSTM schneidet bei den rt besser ab und das FF bei den tn. Die besten Ergebnisse konnten für a-p und v gefunden werden. Für robustere Schätzungen (v. a. m-l K) werden weitere Messungen benötigt. Zukünftig untersuchen wir die Reduzierung von IMUs und den Einfluss unterschiedlicher Gangmuster auf die Leistung der KNN.

Literatur

- [1] Johnson et al. (2019). IEEE Trans Biomed Eng: 68(1): 289–297;
- [2] Wouda et al. (2018). Front Physiol: 9(3): 1–14;
- [3] Mundt et al. (2020). Med Eng Phys: 86: 29-34

Abb. 1



Abb. 1: Instrumentierte Versuchsperson mit 10 IMUs und dem Plug-In-Gait (lower-body) Markerset.

Abb. 2

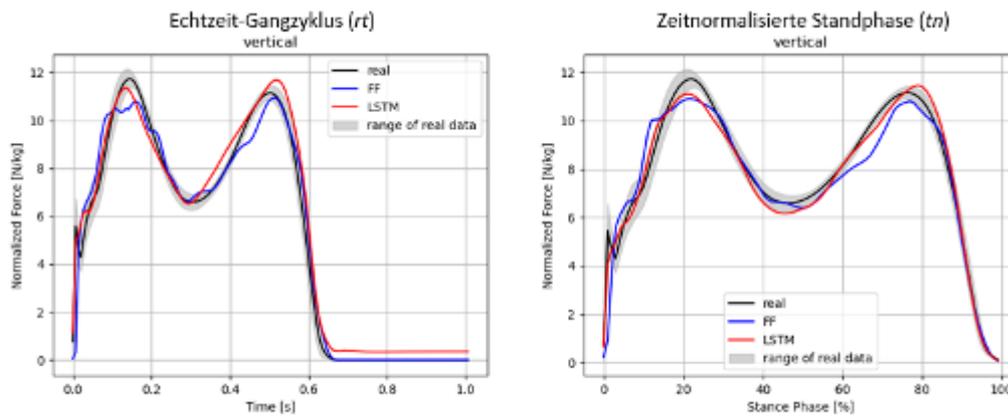


Abb. 2: Vorhersage der vertikalen GRF des Echtzeit-Gangzyklus (rt) und der Zeitnormalisierten Standphase (tn) mit dem FF (blau) und dem LSTM (rot) im Vergleich zu den real gemessenen Daten der Kraftmessplatten (schwarz).

V96

Einfluss verschiedener Fußorthesen auf das Gangbild und die Verteilung des plantaren Druckes

C. Horst (Münster/DE), A. Milstrey (Münster/DE), S. Ochman (Münster/DE), R. Stange (Münster/DE)

Fragestellung: Zur funktionellen postoperativen sowie konservativen Nachbehandlung können Orthesen den plantaren Druck reduzieren. Die vorliegende Studie vergleicht hierbei eine neuartige Orthese mit einer konventionellen vakuumbasierten Orthese und einem off-the-Shelf (ots) Schuh.

Methodik: Bei 25 fußgesunden Probanden (13w/12m, Alter 23 - 58 J.) wurde mithilfe von kapazitiven Messsohlen (Pedar-X©, Novel GmbH, München) eine plantare dynamische Druckverteilungsmessung im ots Schuh (Puma Street Cat) und 2 unterschiedlich konzipierten Orthesen (VACOpedes©, OPED, Valley, Deutschland, Vakuum- vs. Kugeltechnologie) durchgeführt. Als Ausgangsmessung zur Beurteilung der individuellen Fußgeometrie und -belastung diente eine Barfußmessung mittels Druckplatten (emed, Novel GmbH, München). Spitzendruck, mittlerer Druck und Maximalkraft wurden analysiert und der Tragekomfort der beiden Orthesen verglichen.

Ergebnisse: Spitzendruck (in kPa) und mittlerer Druck der Orthesen waren signifikant geringer als im ots Schuh (Vakuum: 230,60±44,57 Kugelmischung:217,99±49,66, ots- Schuh: 278,63±50,46 kPa sowie ots-Schuh: 106,47±19,29 Vakuum: 88,83±20,85 Kugelmischung: 83,96± 20,51kPa) (p<0.001). Zwischen beiden Orthesen zeigte sich keine Signifikanz bzgl. des Spitzendruckes (p=0,052). Signifikante Unterschiede zeigten sich bzgl. des mittleren Druckes (Kugelmischung- 83,96± 20,51 vs. Vakuum-Technologie 88,83±20,85, p<0,001). Bzgl. der Maximalkraft zeigte sich ein sign. Unterschied der Orthesen zum ots- Schuh (ots: 813,43±253,18 Vakuum: 750,39± 247,15 Kugelmischung: 734,55±246,37, p<0,001). Der Tragekomfort war in der Vakuum-Gruppe signifikant geringer als in der Kugelmischung-Gruppe (6/10 vs. 8/10, p<0,001).

Schlussfolgerung: Die neuartige Orthese mit Kugelmischung- Technologie zeigt in allen untersuchten Druckverteilungsmessungen eine mindestens gleichwertige, teilweise sogar größere Entlastung, als die Orthese mit Vakuum- Technologie sowie einen erhöhten Tragekomfort.

Session 15 • Frakturheilung

V97

Clusteranalyse der funktionellen Kniekinematik nach Tibiaplateau-Frakturen zur Bestimmung der Rehabilitationsergebnisse basierend auf Algorithmen des maschinellen Lernens

M. Kraus (München/DE), A. M. Keppler (München/DE), D. Darga (Rosenheim/DE), J. Ditto (Rosenheim/DE), M. M. Saller (München/DE), C. Zeckey (Rosenheim/DE), J. N. Rieken (Rosenheim/DE)

Fragestellung: Ganganalysen sind von Bedeutung für die Beurteilung der funktionellen Ergebnisse von Verletzungen der unteren Extremitäten, um die Nachsorge an die Bedürfnisse des Patienten anzupassen. Für die Interpretation multidimensionaler Ganganalysen ist umfangreiches Fachwissen erforderlich. Ziel der Studie war es statistische Methoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens einzusetzen, um automatisiert therapeutisch nützliche Informationen aus Gelenkkkinematikprofilen des Knies zu extrahieren.

Methoden; Eine videogestützte 3D-Gangstudie wurde 6 Monate postoperativ bei 34 Patienten mit einer operativ versorgten Tibiaplateaufrakturen unter Verwendung des Noraxon Myomotion Systems durchgeführt. Die ROM-Profile aller Gelenke der unteren Extremitäten wurden erfasst. Ein erfahrener Arzt maß die passive ROM und erfasste die PROMs WOMAC, Tegner und Lysholm. Anschließend wurde ein efficient Sparse Clustering auf die Kniekinematikdaten der verletzten Seite angewandt. Die gefundenen Cluster wurden mit Hypothesentests verglichen.

Ergebnisse: Mit dem modellbasierten Ansatz des "efficient sparse clustering" wurden zwei Gruppen gefunden (G1: n = 24, G2: n = 10). G2 zeigte eine geringere Kniebeugung während der Belastungsreaktionsphase des Gangzyklus und eine geringere Streckung während der mutmaßlichen terminalen Standphase und der Vorschwungphase im Vergleich zu G1. G1 ist dem gesunden Gangmuster mit einer stärkeren Ausprägung der Zweigipfligkeit in der Funktion der Kniekinematik ähnlicher. Die Gruppen unterschieden sich signifikant im passiven ROM beider Knie, im Lysholm- und Womac-Score ($p < 0,05$).

Schlussfolgerung: Diese Pilotstudie zeigt, dass der Einsatz von EM-Clustering zur Gruppierung kinematischer Daten innerhalb eines Patientenkollektivs zu klinisch relevanten Clustern therapeutisch sinnvolle Schlussfolgerungen ermöglicht. In Zukunft könnten diese Ergebnisse eine automatisierte und präzisere Interpretation von Bewegungsanalysen mit Hilfe von KI ermöglichen.

V98

Einzel- oder Doppelverplattung von Akromionfrakturen Typ III? Eine biomechanische Studie

M. Hollensteiner (Murnau/DE), S. Sandriesser (Murnau/DE), F. Rittenschiber (Linz/AT), J. Hochreiter (Linz/AT), P. Augat (Murnau/DE), L. Ernstbrunner (Melbourne/AU), R. Ortmaier (Linz/AT)

Akromiale Levy III Frakturen nach inverser Schulterarthroplastik treten bei bis zu 7% der Patienten auf [1]. Ursachen sind die erhöhte Traktion des Deltamuskels aufgrund der veränderten Armposition, Osteoporose, sowie Frakturen durch Fixierungsschrauben der Prothese [2]. Bis heute ist nicht klar, wie Typ III Frakturen behandelt werden sollten. Klinische Ergebnisse nach Akromionfrakturen nach inverser Schulterprothetik sind heterogen und meist unzureichend. Ziel dieser Studie war es, die biomechanische Performance von drei verschiedenen Verplattungsmethoden einer Typ III Akromionfraktur zu evaluieren. Wir stellten die Hypothese auf, dass die Doppelplattenosteosynthese biomechanisch günstiger ist als Einzelplattenfixierungen.

Künstliche Scapulae mit Levy III Frakturen wurden mit drei verschiedenen Varianten fixiert. Dabei wurde eine 3.5mm winkelstabile LCP entweder dorsal (LCPdorsal) oder caudal (LCPcaudal) auf bzw. unter der Spina Scapulae platziert um die Fraktur zu überbrücken. In einer 3. Gruppe wurden diese beiden Methoden kombiniert (LCPdouble). In einem biomechanischen Versuch wurde der Zug des Deltoidmuskels bei 40° Abduktion des Armes simuliert. Die zyklische Last wurde alle 2000 Zyklen um 25N bis zum Versagen des Konstruktes erhöht. Versagenslast, -zyklen, -modi und Fragmentbewegungen wurden evaluiert.

Die Ergebnisse zeigten, dass die LCPdouble (350±63N) mehr Last bis zum Versagen des Konstruktes stand hielt, gefolgt von LCPdorsal (292±20N) und LCPcaudal (217±49N). Ebenso zeigte LCPdouble signifikant geringere Fragmentbewegungen als die beiden anderen Gruppen; wiederum gefolgt von der LCPdorsal.

LCPdouble schnitt bei allen untersuchten Parametern im simulierten Lastfall am besten ab. LCPcaudal wies im Frakturmodell geringste Steifigkeit und eine sehr hohe Fragmentbewegung auf und kann daher aus biomechanischer Sicht nicht für die Behandlung von Typ III Akromionfrakturen empfohlen werden.

[1] [10.1016/j.jse.2010.08.001](https://doi.org/10.1016/j.jse.2010.08.001)

[2] [10.1016/j.jse.2018.06.007](https://doi.org/10.1016/j.jse.2018.06.007)

V99

Biomechanischer Vergleich der interfragmentären Kompressionskraft und Kompressionsverteilung zweier Schraubentypen zur Osteosynthese bei Frakturen am Fuß

A. Weigert (München-Großhadern/DE), M. Kistler (München-Großhadern/DE), L. Bauer (München-Großhadern/DE), B. Wegener (München-Großhadern/DE)

Fragestellung

Aufgrund des Designs verschiedener Schraubensysteme zur Osteosynthese verteilt sich bei der Osteosynthese die interfragmentäre Kompressionskraft auf einer unterschiedlich großen Fläche des Knochens (area of contact) bei gleichzeitig variierender Spitzenkompression (peak compression). Die klinische Bedeutung dieses biomechanischen Merkmals ist bislang unklar. In dieser Studie soll die Kraftentfaltung von Headless Compression Screws (HCS Fa. Depuy Synthes) mit einem winkelstabilen Zwei-Schrauben-Arthrodesen System (Fa. Extremity Medical) verglichen werden.

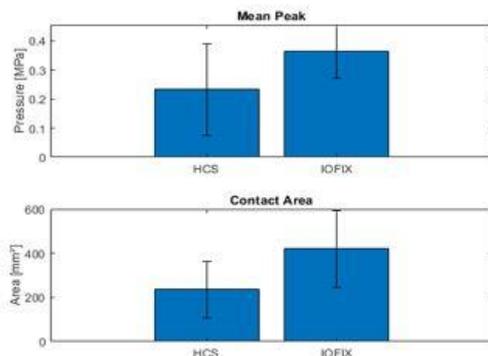
Methoden

Es wurden jeweils 7 Paare HCS Schrauben und 7 Paare Polyaxiale Schrauben des Zwei-Schrauben-Arthrodesen Systems nach entsprechender Vorbohrung in Sawbone-Blöcke mit einem definierten Drehmoment von 50 Nm eingebracht. Die interfragmentäre Kompression bzw. die Druckverteilung (contact area) und der Spitzendruck (Peak Compression) wurden kontinuierlich durch Dünnschicht-Kraftsensoren gemessen.

Ergebnisse

Bezüglich der Spitzenkompressionskraft (mean peak) konnte im Vergleich der beiden Schraubensysteme bei definiertem Drehmoment kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Jedoch zeigte sich in der Flächenverteilung der Kompressionskraft eine signifikant größere Knochenkontaktfläche (contact area) beim Zwei-Schrauben-Arthrodesen System als bei den HCS Schrauben.

Abb. 1



Tab. 1

Schraube	Mittelwert (± Standardabweichung)	p-Wert
Mean Peak in MPa		0,083
HCS	0,23 (± 0,16)	
IOFIX	0,36 (± 0,09)	
Contact Area mm²		0,043*
HCS	236,62 (± 127,83)	
IOFIX	420,57 (± 173,50)	

V100

6 kleine Einstiche: Bietet eine minimalinvasive Versorgung per Fixateur Externe am proximalen Humerus ausreichend Stabilität?

M. Greinwald (Murnau/DE), F. Matschl (Murnau/DE), S. Regenbogen (Murnau/DE), R. Pätzold (Murnau/DE), P. Augat (Murnau/DE, Salzburg/AT)

Proximale Humerusfrakturen werden meist mit starren winkelstabilen Platten behandelt. Als Alternative wurden halbstarre, minimalinvasive Systeme zur unterstützenden Fixierung entwickelt [Resch (2001)]. Ein neues System nutzt dieses Prinzip mit 2,5 mm Teilgewindeschrauben und externer Fixation. Ziel dieser Studie war der Vergleich der Frakturstabilität des Fixateurs mit einer winkelstabilen Platte, mit der Frage, ob die mechanische Stabilität für postoperative Rehabilitationsmaßnahmen ausreichend ist.

Humane, proximale Humeri (gepaart, weiblich, Alter ≥ 60 , $n = 8$) wurden mit einer 3-Teil Fraktur (Abb. 1) versehen und mit einem Fixateur externe (Orthofix Galaxy Shoulder) oder einer winkelstabilen Platte (Philos) versorgt. Es wurde eine physiologische Last 6 Wochen post-OP simuliert. Die Maximallast wurde auf Basis einer 45° Abduktionsbewegung definiert [Bergmann (2011)]. Die Proben wurden 25° frontal und 8° sagittal montiert (Abb. 2). Die zyklische Maximalbelastung wurde innerhalb von 10.000 Zyklen kontinuierlich von 10 auf 320 N erhöht. Zur Ermüdungsprüfung folgten weitere 10.000 Zyklen bei 320 N. Die Frakturbewegung wurde mit einer 3D-Kamera erfasst.

7 Platten und 2 Fixateure erreichten die Maximallast, die anderen Konstrukte versagten vor Erreichen dieses Lastwertes. Die Auswertung der Frakturstabilität erfolgte bei Teilbelastung von 240 N (4 Wochen post OP). Die Frakturbewegung des Fixateurs war lateral signifikant höher ($3,3 \pm 1,0$ mm, $p < 0,03$), medial jedoch vergleichbar mit der Platte ($0,9 \pm 1,2$ mm, $p > 0,7$). Beide Systeme stabilisierten das laterale Fragment ausreichend. Beim Fixateur waren Pinnmigration ($1,1 \pm 1,0$ mm) und Valgusrotation des Kopfsegments minimal ($3,1 \pm 2,0^\circ$).

Unsere Ergebnisse legen nahe, dass gebräuchliche Rehamaßnahmen des Fixateursystems (2-3 Wochen Armschlinge, 3-4 Wochen leichte Physiotherapie) sinnvoll gewählt, aber dringend einzuhalten sind, da größere Lasten zu relevanten Instabilitäten in der Fraktur führen können [Blonna (2019)].

Abb. 1

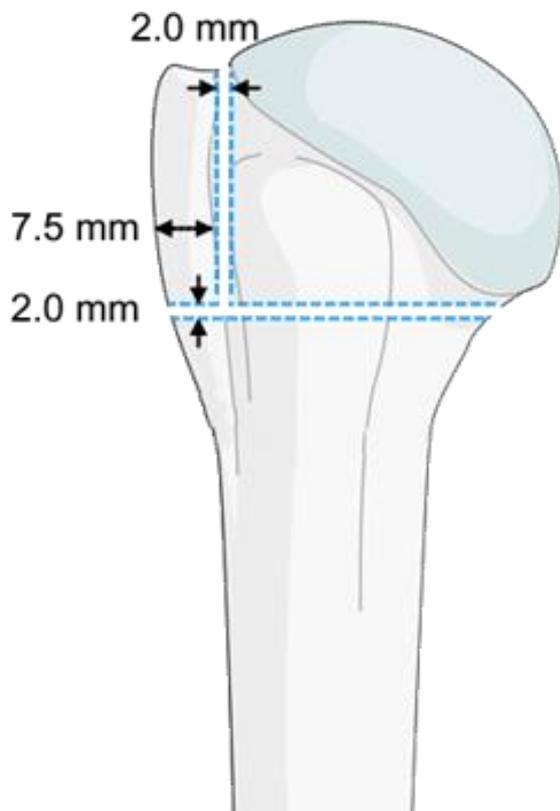
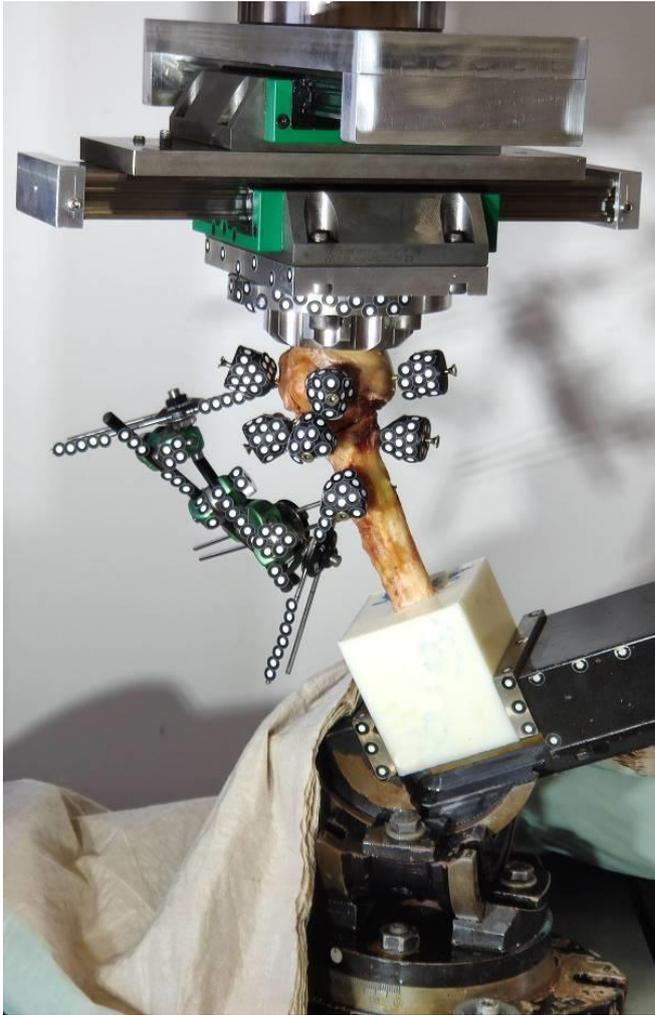


Abb. 2



V101

Heilungsverlauf von Humerusschaftfrakturen nach Stabilisierung durch Nagelosteosynthese und additiver Cerclage

F. von der Helm (Augsburg/DE), J. Reuter (Augsburg/DE), L. Lisitano (Augsburg/DE), A. Fenwick (Augsburg/DE), E. Mayr (Augsburg/DE), S. Foerch (Augsburg/DE)

Fragestellung:

Die Humerusschaftfraktur ist eine seltene Fraktur der großen Röhrenknochen. Die Therapie der Humerusschaftfraktur ist aufgrund der hohen Wahrscheinlichkeit, postoperativ eine Pseudarthrose zu entwickeln, vielfältig und umstritten. Biomechanisch wird die Osteosynthese an der oberen Extremität durch Rotationskräfte belastet, gerade Nagelosteosynthesen sind hierbei anfällig. Additive Cerclagen kompensieren Rotationskräfte, wie in einer experimentellen Studie an einem Tibiamodell gezeigt wurde. Die Argumente gegen deren Verwendung ist eine mutmaßliche Störung der Fragmentdurchblutung durch Strangulation der Blutversorgung. Ziel dieser retrospektiven Studie ist die Analyse des Heilverlaufs sowie Erfassung von Komplikationen.

Methoden:

In dieser retrospektiven Studie erfolgt die Auswertung von 109 Patienten, welche im Zeitraum von 6 Jahren bei einer Humerusschaftfraktur operativ mit Nagelosteosynthese und additiv, limitiert invasiver Cerclage stabilisiert wurden. Der primäre Endpunkt war die Heilungsrate. Als sekundärer Endpunkt wurden Komplikationen erfasst. Nach Sichtung von Patientenakten und Röntgenbilder erfolgte eine statistische Analyse mit SPSS.

Ergebnisse und Schlussfolgerung:

Von 96% der Patienten im follow up konnte eine knöchernen Konsolidierung radiologisch dokumentiert werden. Bei 2 Patienten zeigte sich eine Pseudarthrose. Bei 5 Patienten zeigte sich eine sekundäre Radialisläsion im Rahmen der operativen Stabilisierung. Die antegrade Nagelosteosynthese mit limitiert invasiver, additiver Cerclage reduziert das Risiko für die Ausbildung einer Pseudarthrose und ergibt kein erhöhtes Risiko für eine iatrogene Schädigung des N. radialis. In der Zusammenschau aller Faktoren ist diese Therapie eine wertvolle operative Option, die nach genauer Frakturanalyse zu sehr gutem Erfolg führt.

V102

The influence of biomechanical signals on postoperative reconstructed human mandibles

G. Biesso (Berlin/DE), V. Orassi (Berlin/DE), C. Janka (Tuttlingen/DE), C. Rendenbach (Berlin/DE), S. Checa (Berlin/DE)

Question: Optimal reconstruction of mandibular defects is a major clinical challenge. Novel approaches include the use of vascularized autologous bone grafts that are fixated to the mandible. Although the surgery is highly successful, recent investigations have reported substantial cases of osseous non-union [Rendenbach et al, 2018]. Mechanical signals are crucial for bone regeneration [Epari et al, 2006], however they are challenging to measure experimentally. This study aims to investigate, whether the healing outcome in reconstructed patients is related to postoperative biomechanical conditions.

Methods: A subject-specific finite element model (FEM) of a reconstructed mandible was developed based on patient CT scans. The individual presented successful postoperative healing outcome. The fixation system consisted of a combination of titanium alloy fixation plates, whose design was based on patient anthropometric characteristics. 14 muscles modelled as actuators were added to the FEM. Individual muscle forces were calculated through an optimization function. A unilateral clenching task was simulated and the 1st (ϵ_1) and 3rd (ϵ_3) principal strains within the healing regions were evaluated.

Results: For a unilateral biting task of 50N, the average within the osteotomy regions was 1.2% (0.002 SD) and the average was 0.04% (0.002 SD). Tensile strains were determined in the crestal sides, whereas the inferior regions were mainly under compression. Strain magnitudes for ϵ_1 and ϵ_3 were found to be higher on the distal interosseous gap than on the mesial (Fig. 1).

Conclusions: Determined mechanical strains are in the range of those previously reported to promote intramembranous ossification [Claes et al, 1999]. Future studies are needed to investigate the biomechanical environment in non-union scenarios.

Acknowledgments: This study was funded by the DFG (CH 1123/10-1).

Abb. 1

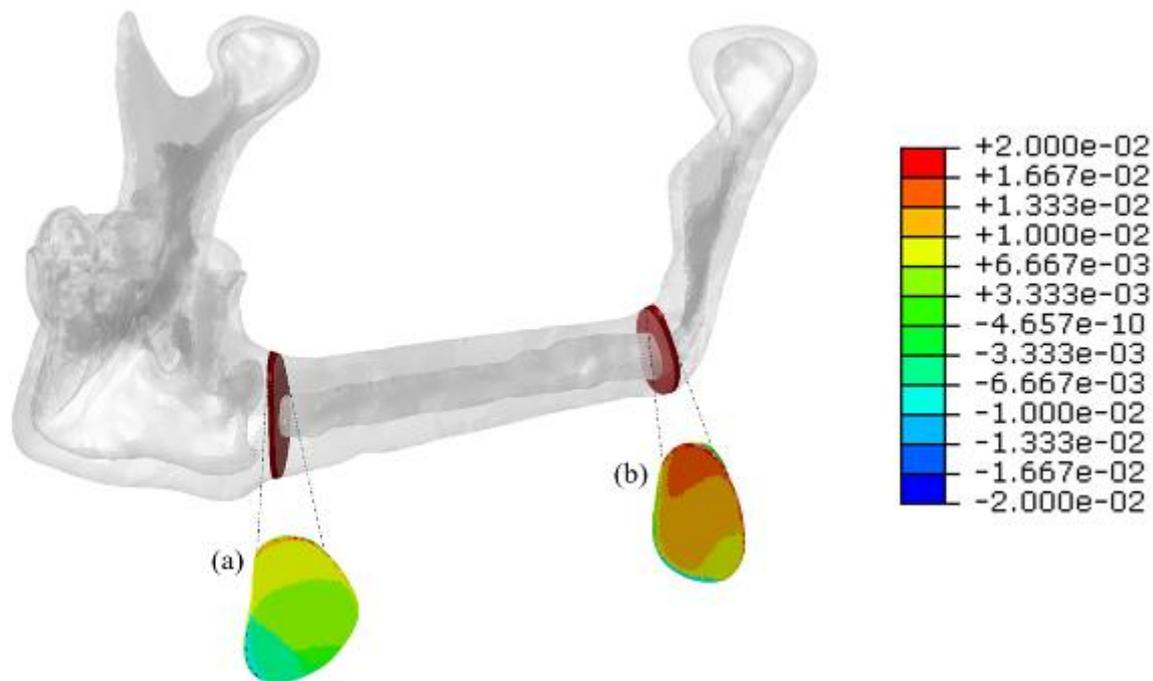


Figure 1: Absolute principal strains within the (a) mesial and (b) distal healing regions.

V103

Biomechanische Validierung additiv gefertigter femoraler Kunstknochen

F. Metzner (Leipzig/DE), C. Neupetsch (Leipzig/DE, Dresden/DE, Chemnitz/DE), A. Carabello (Dresden/DE, Chemnitz/DE), M. Pietsch (Dresden/DE, Chemnitz/DE), T. Wendler (Leipzig/DE), W. G. Drossel (Dresden/DE, Chemnitz/DE)

Fragestellung

Die Nachbildung von humanen Knochen stellt die Entwickler von Knochenersatzmaterialien vor große Herausforderungen. Konventionelle Knochenmodelle bestehen meist zum Großteil aus Polyurethanschaum, umgeben von einer festen Hülle. Die Schaumkomponenten haben zwar dem Knochen ähnliche mechanische Eigenschaften, jedoch ohne die Anisotropie und Inhomogenität der Knochenarchitektur abzubilden.

Methoden

Um die Anisotropie und Inhomogenität der Knochenstruktur nachzubilden, wurden Knochenmodelle erzeugt, die aus einem additiv gefertigten Kern bestehen, auf welchem ein Glasfaserlaminat aufgebracht wurde. Für die Validierung des Modells wurden mit dem Fused-Filament-Fabrication Verfahren Proben, bestehend aus einer Gyroidstruktur, aus unterschiedlichen Materialien und Füllgraden gefertigt und im einachsigen Druckversuch charakterisiert. Die kortikale Komponente wird im 3-Punkt Biegeversuch charakterisiert. Das Gesamtsystem wurde charakterisiert, indem femorale Prothesenschäfte unter kontrollierten Bedingungen in die hergestellten Kunstknochen, sowie humane Spenderknochen, eingepresst und die dabei auftretenden Kräfte und Dehnungen aufgezeichnet wurden.

Ergebnisse

Im Druckproben zeigten ein dem Humanknochen ähnliches Materialverhalten. Im Biegeversuch zeigte das Glasfaserlaminat höhere Festigkeit und Steifigkeit als humane Kortikalis, wobei ein ähnliches Materialverhalten beobachtet werden konnte. Beim Einpressen der Prothese erreichten die Humanpräparate höhere Kräfte als die Knochenmodelle. Betrachtet man den Verlauf der Kraft über der Eindringtiefe des Implantates in den Knochen, so liegen alle Knochenmodelle im Bereich der Humanpräparate.

Schlussfolgerungen

Mittels additiver Fertigung können valide Knochenmodelle erzeugt und deren Eigenschaften gezielt durch die Änderung des Füllgrades beeinflusst werden.

Abb. 1

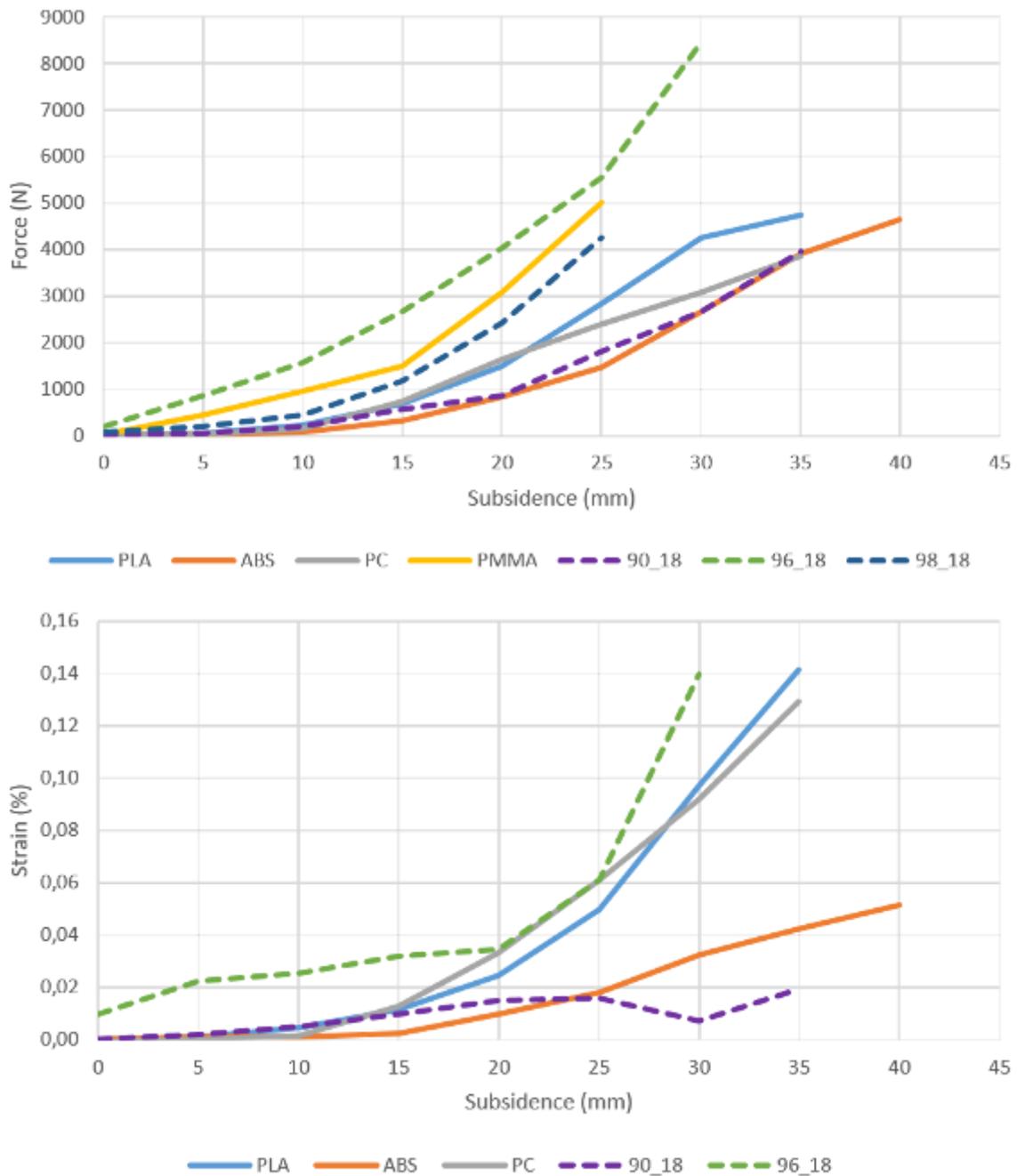


Abb. Einpresskraft und Dehnung über der Eindringtiefe des Implantates bei Kunstknochen (durchgezogen) sowie bei Humanpräparaten (gestrichelt)

Session 16 • Bewegungsanalyse Obere Extremität

V104

Die Anpassung muskulärer Synergien bei unerwartet gestörten Greifaufgaben

E. Jakobowitz (Hannover/DE), L. Schmidt (Hannover/DE), A. Obermeier (Hannover/DE), C. Hurschler (Hannover/DE), S. Spindeldreier (Hannover/DE)

Einleitung: Muskelsynergien (MS) sind zentrale Bausteine für die Bewegungsproduktion. Der Mensch kann damit sein motorisches Verhalten bei der Manipulation von Objekten in wechselnden Umgebungen ohne Leistungseinbußen anpassen. Die dafür im ZNS abgelegten Korrekturmechanismen sind dafür verantwortlich. Welcher Mechanismus bei unerwarteten Gewichtsänderungen von Greifobjekten zugrunde liegt und wie sich MS dabei verändern ist bis heute unbekannt.

Methodik: Die Aktivität von 12 Armmuskeln während Objektmanipulationsaufgaben mit und ohne unerwarteter Gewichtsveränderung wurde bei 15 gesunden Probanden mittels EMG gemessen. Die Bewegungen der markierten Greifobjekte wurden mit einem optischen VICON-System getrackt. Die MS wurden mittels NNMF während unterschiedlicher Manipulationsphasen extrahiert und einer k-means Cluster-Analyse zugeführt. Statistisch kamen ein Wilcoxon signed-rank und ein Wilcoxon rank-sum Test zur Anwendung.

Ergebnisse: Die störungsinduzierte Korrekturreaktion zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die räumliche Zusammensetzung der MS und auf die Anzahl der rekrutierten MS während der Manipulationsphase (Fig. 1). Die zeitliche Aktivierung subjektinvarianter MS hingegen wurde kontextabhängig verändert und hängt signifikant von der jeweiligen Gewichtsveränderung ab. Die zeitlichen MS-Aktivierungsprofile abgeglichen mit den Objekttrajektorien zeigten, dass diese offenbar maßgeblich durch ein sensorisches Feedback beeinflusst wurden.

Schlussfolgerung: Da sich die zeitliche Veränderung bei einem unerwartet schweren von der bei einem unerwartet leichten Objekt signifikant unterscheidet, spiegelt die Kontextabhängigkeit die Art der Störung wider. Für beide Störungen scheinen jedoch in erster Linie Feedback-Mechanismen für die Veränderung der MS-Aktivierung verantwortlich zu sein. Unerwarteter Weise blieb die räumliche Koordination der MS hingegen infolge unerwarteter Störung unbeeinflusst.

Abb. 1

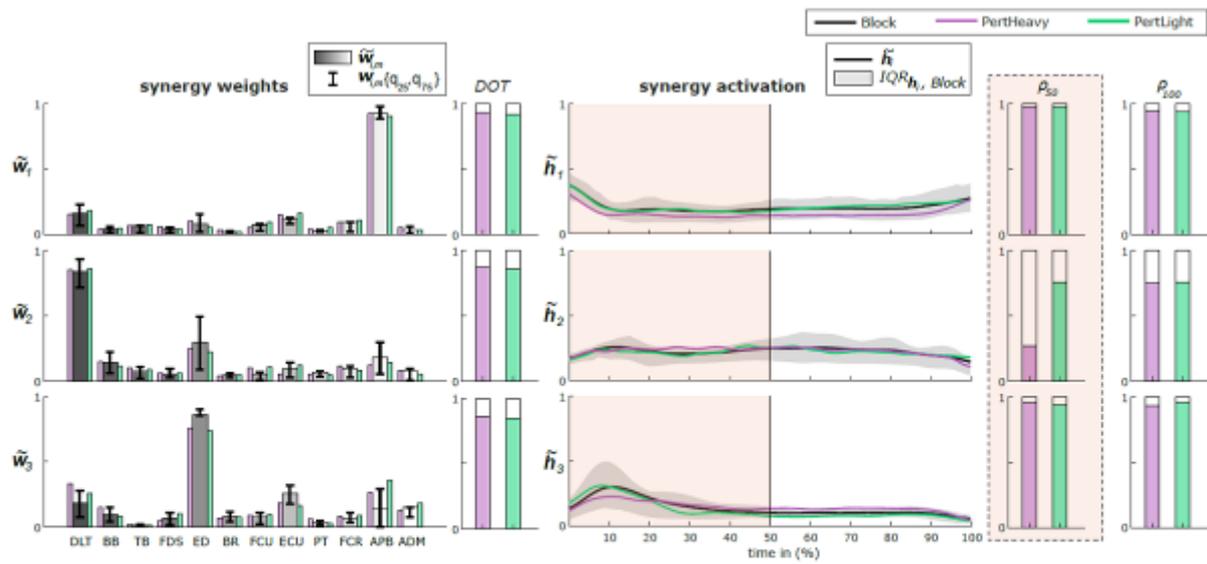


Fig. 1: Relative Synergie-Zentroide aus der Cluster-Analyse während der Manipulationsphase mit dem Objekt (Balkendiagramme, links) und entsprechende zeitliche Aktivierungen (Liniendiagramm, rechts) für erwartete (Block, grau), unerwartet schwere (PertHeavy, lila) und unerwartet leichte (PertLight, grün) Objektgewichte. Räumliche (DOT) und zeitliche (ρ) Ähnlichkeitswerte sind neben jeder Grafik dargestellt. ρ_{50} ist der Ähnlichkeitswert für die ersten 50% der Manipulationsphase und ρ_{100} umfasst die gesamte Bewegung.

V105

Reliability of isometric shoulder strength during abduction and rotation movements with the Biodex dynamometer

E. Croci (Basel/CH), P. Born (Basel/CH), F. Eckers (Basel/CH), C. Nüesch (Basel/CH), D. Baumgartner (Winterthur/CH), A. M. Müller (Basel/CH), A. Mündermann (Basel/CH)

Question

The Constant Score (CS) is used to clinically assess the shoulder joint, but a standardised evaluation of strength is missing. Thus, the aim of this study was to evaluate the reliability of isometric shoulder strength during various movements with the Biodex dynamometer and their association with the CS.

Methods

Ten young healthy subjects participated in this study (5 men and 5 women; mean (standard deviation, SD), age: 28.1 (4.0) years; body mass index: 23.0 (1.9) kg/m²). Isometric strength was measured for all shoulders during 3 repetitions of 10° and 30° abduction (ABD) in the scapular plane (extended elbow and hand in neutral position) and for internal/external rotation (IR/ER, arm at 15° scaption with elbow flexed at 90°, Figure 1). Tests were repeated twice within 1 week. CS was acquired at the first visit. Intra-class correlations (ICC) with 95% confidence interval (CI), limits of agreement and paired t-tests during all movements for repeated tests were computed. Pearson's correlation between strength and CS was analysed.

Results

No differences were observed between dominant and non-dominant sides (mean difference <1.5Nm, $p < 0.05$), hence no further distinction between sides was made. Between repeated tests no significant differences were observed ($p < 0.05$) and good to very good reliabilities during ABD 10°/30°, ER and IR were found (Table 1). The mean (SD) CS was 91.3 (2.8) and a moderate correlation with all strength measures was observed (Table 1).

Conclusions

Strength measurements are reproducible and correlate with the CS. Hence, these Biodex tests can be further used to investigate the effect of shoulder pathology on muscle strength. Furthermore, these tests consider a broader functionality of the rotator cuff than the strength evaluation within the CS, as both abduction and rotation are assessed. This would potentially allow greater differentiation between the various outcomes of rotator cuff tears.

Abb. 1

Figure 1: Shoulder test setups for abduction (a) and rotation (b).

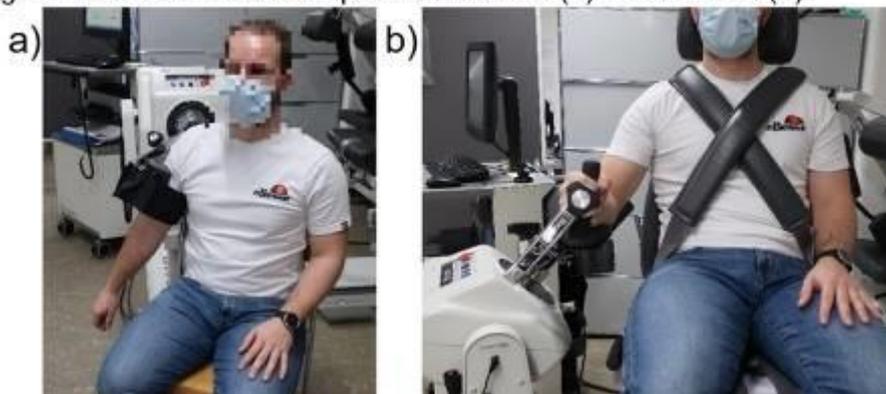


Abb. 2

Table 1: Biodex tests results.

<i>Muscle strength test</i>	<i>Mean (SD) (Nm)</i>	<i>ICC [95% CI]</i>	<i>Limits of agreements (Nm)</i>	<i>Correlation with CS (p<0.05)</i>
<i>Abduction 10°</i>	35.3 (11.8)	0.908 [0.783; 0.962]	[-11.6; 8.3]	0.631
<i>Abduction 30°</i>	34.3 (12.2)	0.904 [0.763; 0.962]	[-12.3; 7.9]	0.504
<i>External Rotation</i>	20.6 (6.5)	0.881 [0.724; 0.951]	[-6.7; 6.4]	0.526
<i>Internal Rotation</i>	36.5 (9.8)	0.982 [0.956; 0.993]	[-3.9; 3.6]	0.567

SD = Standard Deviation, ICC = Intra-Class Correlation, CI = Confidence Interval, CS = Constant Score

V106

Bewegungsanalytische Quantifizierung einer klinischen Testmethode zur Bewertung der Flexionsspastik am Ellenbogen

A. Pennekamp (Ludwigshafen/DE), M. Thielen (Ludwigshafen/DE), J. Glaser (Ludwigshafen/DE), A. Hogan (Ludwigshafen/DE), L. Harhaus (Ludwigshafen/DE), U. Trinler (Ludwigshafen/DE)

Einleitung:

Patienten mit einer Spastik sind in der Durchführung alltäglicher Bewegungen limitiert. Da objektive Messmethoden zur Beurteilung der Spastik der oberen Extremität fehlen, werden subjektive Messverfahren mit geringer Interrater-Reliabilität [1] verwendet (modifizierte Ashworth Skala (MAS) [2], modifizierte Tardieu Skala (MTS) [3]). Objektive Messmethoden sind jedoch insbesondere für die operative Indikationsstellung und Outcome-Assessments wichtig. Ziel der Studie ist es, die Ellenbogenflexionsspastik durch 3D Bewegungsanalyse und sEMG zu quantifizieren und objektive und subjektive Messmethoden zu vergleichen.

Methoden:

Acht Patienten mit Flexionsspastik des Ellenbogens und 20 gesunde Arme wurden untersucht. Reflektierende Marker und sEMG (Biceps) wurden auf der Haut platziert. Analysiert wurde die Spastik bei passiver Dehnung des Biceps (3 langsame (LV) und 3 schnelle (HV) Trials). Nach MVIC-Normierung der sEMG-Daten wurden die max. passive Ellenbogenstreckung, die sEMG-Aktivität (LV und HV) sowie die sEMG-Differenz zwischen LV und HV (EMG-change) für einen bestimmten Zeitabschnitt [4] zwischen den Gruppen verglichen (Mann-Whitney-U). MAS und MTS wurden mit den sEMG-Parametern korreliert (Spearman).

Ergebnisse:

Alle Parameter unterschieden sich signifikant zwischen den Gruppen (Abb. 1). MTS korreliert mehr mit dem sEMG als MAS.

Diskussion:

Unsere Daten deuten darauf hin, dass diese Messmethodik zur Quantifizierung der Flexionsspastik des Ellenbogens genutzt werden kann, und dass die subjektive Beurteilung der Spastik mittels MTS Skala, der der MAS Skala überlegen ist. Besonders der Vergleich der prä- und postoperativen Ergebnisse ist vielversprechend mit Blick auf die Entwicklung der Spastik. Reliabilitäts- und Validitätsstudien sind geplant.

[1] Fleuren et al. 2010 *JNNP*, 81(1):46–52

[2] Ashworth 1964 *The Practitioner*, 192:540– 542

[3] Tardieu et al. 1954 *Revue neurologique*, 91(2):143–144

[4] Bar-On, L 2013 *Gait & posture*, 38(1):141–147

Tab. 1

Mittelwert (SD)	ROM [°]		EMG [%]		EMG-change [%]	EMG LV		EMG HV		EMG change		
	LV	HV	LV	HV		Rho (p)	p	Rho (p)	p	Rho (p)	p	
Patienten N=8	49,08 (±34,07)	59,42 (±38,82)	13,34 (±9,65)	30,72 (±30,65)	17,38 (±24,86)	MAS	0,25	0,55	0,63	0,09	0,55	0,16
gesunde Erwachsene N=20	6,59 (±7,99)	0,04 (±8,88)	0,25 (±0,16)	0,29 (±0,17)	0,04 (±0,11)	MTS	0,68	0,06	0,89	0,003*	0,69	0,06
	p=0,001*	p=0,001*	p=0,000*	p=0,000*	p=0,000*							

V107

Evaluation der Schulterstabilität und Humeruskopf-Zentrierung unter Einfluss von Muskelkräften und Glenoid-Defekten bei der Wurf- und Dislokationsbewegung – eine Beschreibung der roboterbasierten Methodik

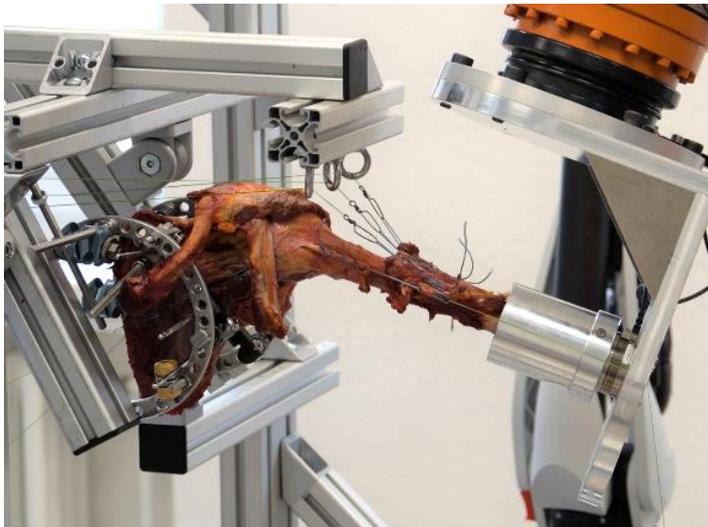
J. Wermers (Münster/DE), S. Tänzler (Steinfurt/DE), P. A. Michel (Münster/DE), M. J. Raschke (Münster/DE), C. Katthagen (Münster/DE)

Aktuelle Studien zur Schulterstabilität basieren auf vereinfachten Modellen anhand von CT-Daten oder humanen Präparaten ohne Weichteilgewebe. Für eine Analyse der stabilisierenden Faktoren ist die muskuläre Führung jedoch essenziell. In diesem Beitrag wird daher eine Methodik zur ganzheitlichen Evaluation der Schulterstabilität und Humeruskopf-Zentrierung anhand humaner Präparate beschrieben.

Präparate mit einer defizienten Rotatorenmanschette (RM) wurden im MRT ausgeschlossen. Die Muskeln der RM, des Deltoideus und die lange Bizepssehne (LBS) wurden präpariert und armiert. Zudem wurden jeweils fünf Bohrungen in Humerus und Skapula platziert. Durch eine Vermessung anatomischer Landmarken und der Referenzbohrungen im CT-Scan wurde eine 3D-Transformation bestimmt. Die Befestigung erfolgte im roboterbasierten Versuchsaufbau anhand von Schanz-Pins und einem Fixateur-System. Dies ermöglichte eine flexible Positionierung und Belastung der Muskeln in Zugrichtung. Die Muskeln der RM, des Deltoideus und die LBS wurden statisch beladen. Der distale Humerus wurde eingebettet und über einen Kraft-Momenten-Sensor an einem industriellen Roboter befestigt. Für jedes Präparat wurde das Koordinatensystem anhand anatomischer Landmarken wie dem Humeruskopf-Zentrum ausgerichtet. Die Positionen der Landmarken wurden mithilfe der 3D-Transformation berechnet, nachdem die Referenzbohrungen mit einem Messarm erfasst wurden. Der Roboter simulierte eine Wurfbewegung sowie eine anteriore Dislokation. Hierbei konnte eine Dezentralisierung des Humeruskopfes ebenso wie Dislokationskräfte in Abhängigkeit der muskulären Beladung und Glenoid-Defekten erfasst werden.

Durch diese Methodik konnte gezeigt werden, welche Muskeln der RM die anteriore Stabilität begünstigen und ob eine Tenotomie der LBS zur Dezentralisierung des Humerus beiträgt. Somit ist die Methodik geeignet, eine repräsentative Evaluation der Schulterstabilität und Humeruskopf-Zentrierung bei wichtigen Bewegungen zu ermöglichen.

Abb. 1



V108

Einfluss der Glenoidkonkavität auf die anteriore Schulterstabilität unter Einbezug von Weichteilen und muskulärer Führung

S. Oenning (Münster/DE), J. Wermers (Münster/DE), S. Tänzler (Münster/DE), P. A. Michel (Münster/DE), M. J. Raschke (Münster/DE), C. Katthagen (Münster/DE)

Die Therapie der Schulterinstabilität bei vorliegenden Bankart-Läsionen oder knöchernen Glenoiddefekten leitet sich meist von der Defektgröße als Ursache der Instabilität ab. Aktuelle Studien zeigten anhand von CT-Daten und biomechanischen, knöchernen Modellen, dass auch die Glenoidkonkavität stabilitätsrelevant ist. Bislang unklar ist deren Relevanz in Anwesenheit von Weichteilen und Muskelführung, welche in dieser biomechanischen Studie miteinbezogen wurden. Die Stabilität wurde abhängig von der Konkavität nativ, sowie bei Bankart-Läsionen und Knochendefekten untersucht.

Bei n=8 humanen Präparaten wurden Glenoidtiefe und -konkavität gemessen sowie ein Koordinatensystem anhand anatomischer Landmarken berechnet. Die Rotatorenmanschette, der M. deltoideus sowie die lange Bizepssehne wurden statisch beladen. Im roboterbasierten Versuchsaufbau wurde eine nach anterior gerichtete Kraft bis zur Translation des Humeruskopfes von 5 mm appliziert. Dies erfolgte am nativen Gelenk und schrittweise bei Bankartläsion sowie knöchernen Glenoiddefekten von 10% und 20%. Die Präparate wurden anhand ihrer Konkavität in zwei Gruppen (niedrige bzw. hohe Konkavität, je n=4) geteilt.

Es zeigte sich eine hohe Korrelation zwischen nativer Glenoidkonkavität und Stabilität ($R^2=0,7862$). Für jede Defektstufe zeigte sich bei hoher Konkavität eine signifikant höhere Stabilität im Vergleich zu Gelenken mit geringer Konkavität ($p \leq 0,0271$). Der Stabilitätsverlust korrelierte bei knöchernen Defekten von 20% mit der initialen Konkavität ($R^2=0,8949$). Hier zeigt sich bei initial hoher Konkavität ein höherer Stabilitätsverlust verglichen mit niedriger Konkavität ($p=0,0037$).

Die Glenoidkonkavität korreliert auch unter Einbeziehung von Weichteilgewebe und Muskelführung mit der Schulterstabilität. Bei knöchernen Defekten scheint der Verlust der Konkavität eine Ursache der Stabilitätsminderung zu sein, sodass bei der operativen Therapie knöcherner Glenoiddefekte die Konkavität miteinbezogen werden sollte.

V109

Development of an open-loop position controller with iterative learning for in-vitro shoulder motion simulation

D. T. Axford (Sydney/AU, London (Ontario)/CA), R. Potra (Sydney/AU, London (Ontario)/CA), R. Appleyard (Sydney/AU), A. Arenas-Miquelez (Sydney/AU), D. Bokor (Sydney/AU), C. Heinrichs (Mörsdorf/DE), S. Raniga (Sydney/AU), L. M. Ferreira (Sydney/AU, London (Ontario)/CA)

Introduction

Reverse total shoulder arthroplasty (RTSA) is an effective treatment for several shoulder pathologies, but it has higher complication rates than a conventional prosthesis [1,2]. Current shoulder simulators have improved our understanding of RTSA biomechanics, but existing simulators are limited to quasi-static speeds and planar motions.

The purpose of this study was to develop a shoulder simulator and evaluate the performance of an open-loop position controller with iterative learning at simulating faster and more complex motions than reported by existing simulators.

Methods

A shoulder simulator was developed that uses an open-loop position control algorithm to control eight linear actuators connected to shoulder muscle tendons. A preliminary test was conducted using a cadaver specimen with an implanted RTSA prosthesis. Kinematic accuracy was assessed for a multiplanar circumduction motion and a 25°/sec abduction/adduction motion. Repeatability was assessed for the abduction/adduction motion.

Results

For the circumduction motion the root mean square error (RMSE) was 0.2°, 0.3°, and 0.8° for the angles of elevation, plane of elevation, and axial rotation. The maximum error was less than 1.6°. For the abduction/adduction the RMSE was 0.3°, 0.7°, and 0.7° for the angles of elevation, plane of elevation, and axial rotation. The maximum error was less than 2.2° and the average standard deviation between three consecutive motions was 0.2°.

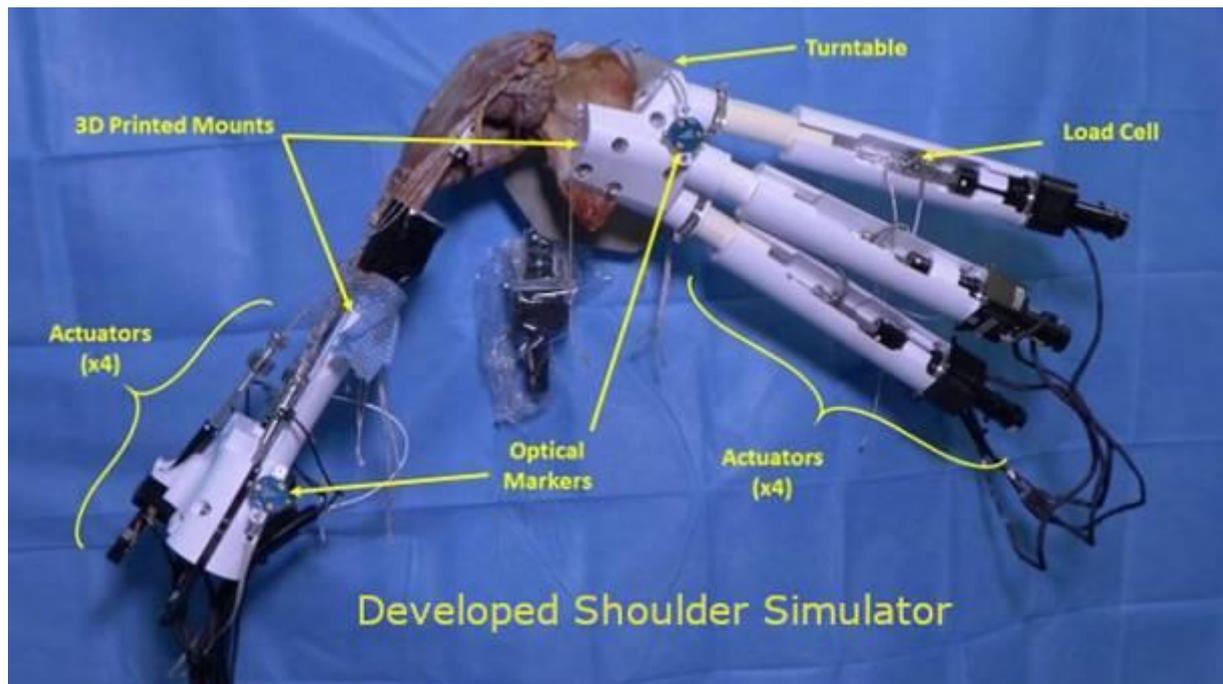
Conclusions

This preliminary evaluation demonstrated a high accuracy and repeatability for multiplanar and high-speed motions. This shoulder simulator and control algorithm can be used to further investigate and gain insight into RTSA biomechanics.

References

- [1] Farshad et al. Reverse total shoulder arthroplasty-from the most to the least common complication. *Int.Orthop.* 2010;34(8);1075–1082
- [2] Rugg et al. Reverse Total Shoulder Arthroplasty: Biomechanics and Indications. *Curr.Rev.Musculosk.Med.* 2019;542–553

Abb. 1



V110

Schon eine geringe Bandscheibendegeneration verringert den Bewegungsumfang und die neutrale Zone der Brustwirbelsäule – Eine Untersuchung an 95 Humanpräparaten

C. Liebsch (Ulm/DE), H. J. Wilke (Ulm/DE)

Fragestellung

Der Einfluss degenerativer Bandscheibenveränderungen auf die segmentale Flexibilität wurde bisher vor allem für die Hals- und Lendenwirbelsäule ermittelt. Ziel dieser Studie war, den Einfluss des Degenerationsgrades auf die Flexibilität der Brustwirbelsäule zu untersuchen.

Methoden

95 humane Wirbelsäulensegmente (mind. n = 4 pro Level T1-T2 bis T11-T12) von 33 Spendern (15 w./18 m., 37-80 J. Ø 56 J.) wurden mit reinen Momenten von 5 Nm in Flexion/Extension, Seitneigung und axialer Rotation belastet um den Bewegungsumfang und die Neutrale Zone zu messen. Bandscheibendegenerationsgrade wurden auf Basis einer Röntgenbild-basierten Klassifikation für die Brustwirbelsäule [1] bestimmt (0 = keine, 1 = schwache, 2 = mittlere, 3 = starke Bandscheibendegeneration). Statistisch signifikante Unterschiede wurden mittels Kruskal-Wallis-Test mit Dunn-Bonferroni-Korrektur sowie Mann-Whitney-U-Test untersucht, jeweils mit einem Signifikanzniveau von 0,05.

Ergebnisse

Die Präparate wiesen Grad 0, 1 oder 2 auf. In allen sechs Richtungen nahm der Bewegungsumfang sowohl für Grad 1 als auch Grad 2 signifikant vs. Grad 0 ab (Abb. 1). Die größte Abnahme wurde in Extension zwischen Grad 2 vs. Grad 0 festgestellt (-42 %). Zwischen Grad 1 und Grad 2 gab es keine signifikanten Unterschiede. Die Neutrale Zone war in Flexion, Extension und Seitneigung signifikant für Grad 1 vs. Grad 0 reduziert, ebenso in Extension für Grad 2 vs. Grad 0 (-47 %). Das Alter der Spender zeigte keinen statistischen Einfluss auf die Flexibilität, wogegen der Bewegungsumfang in Präparaten von männlichen Spendern auf Grund des höheren mittleren Degenerationsgrades signifikant reduziert war.

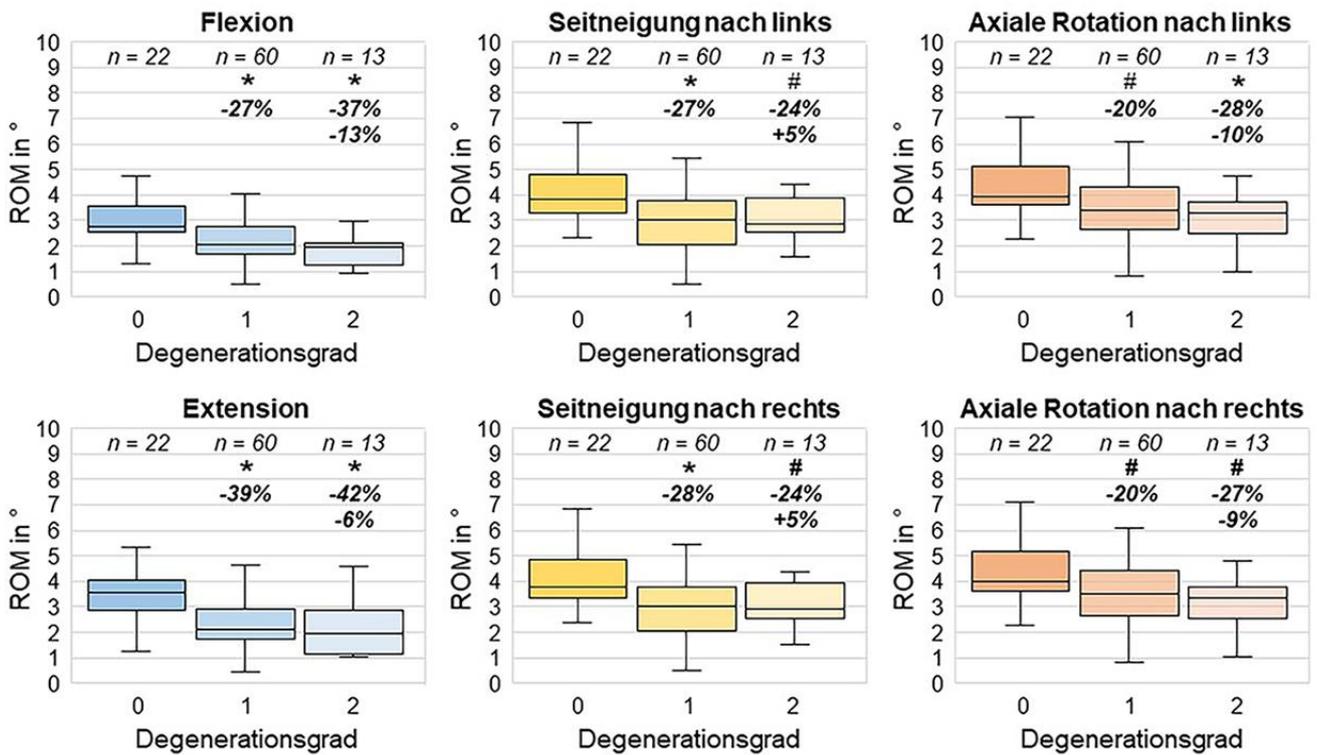
Schlussfolgerungen

Im Gegensatz zur Hals- und Lendenwirbelsäule reduziert bereits eine geringe Bandscheibendegeneration die Flexibilität der Brustwirbelsäule, während fortschreitende Degeneration ihre Flexibilität nicht weiter verändert.

Literatur

[1] Liebsch et al. (2021). Eur Spine J. doi: 10.1007/s00586-021-06970-6.

Abb. 1



* Signifikant ($p < 0.05$) zu Grad 0 (Kruskal-Wallis-Test mit Dunn-Bonferroni-Korrektur und Mann-Whitney-U-Test)
 # Signifikant ($p < 0.05$) zu Grad 0 (paarweiser Mann-Whitney-U-Test)

Abb. 1. Ergebnisse für den Bewegungsumfang (ROM) in den sechs Bewegungsrichtungen für die Degenerationsgrade 0 bis 2 nach Liebsch et al. (2021).

Session 17 • Sportbiomechanik II

V111

Knieleistung in funktionellen Tests 2 Jahre nach VKB Operation: Ein Vergleich zwischen VKB Naht und InternalBrace, VKB Rekonstruktion und Gesunden

L. Bühl (Basel/CH), S. Müller (Basel/CH), C. Nüesch (Basel/CH), G. Pagensteert (Basel/CH), A. Mündermann (Basel/CH), C. Egloff (Basel/CH)

Fragestellung:

Nach Naht des vorderen Kreuzbandes und InternalBrace-Augmentation (VKB-IB) mit Erhalt des nativen VKBs liegen vermehrt patienten-berichtete Ergebnisse der Kniefunktion lediglich im Vergleich zur VKB Rekonstruktion (VKB-R) [1] vor. Wir verglichen die objektive Knieleistung in funktionellen Tests zwischen VKB-IB, VKB-R und Knie-Gesunden (G).

Methodik:

30 Patienten nach unilateraler VKB-IB, 28 nach VKB-R und 30 G (Tab.1) absolvierten mit dem operierten bzw. nicht dominanten (G) Bein Winkelreproduktionstests (JPS; 30° & 60° Knieflexion), den Y-Balance Test (YBT), Einbeinsprünge auf maximale Distanz (SLH; Landung für min. 2s haltend) und seitlich innerhalb 30s über 40cm (SH). Der JPS-Reproduktionsfehler, YBT-Score (=Summe max. Distanz aller Richtungen/(3*Beinlänge)), max. SLH-Distanz (%Körpergröße) und die Anzahl SH wurden via einfache ANOVA zwischen den Gruppen verglichen ($P < .05$).

Ergebnisse:

Nicht alle Patienten konnten SLHs durchführen (1 VKB-IB; 1 VKB-R) bzw. SHs (6 VKB-IB; 3 VKB-R, davon beidseits betroffen 4; 1). Bei den durchgeführten Tests lagen keine signifikanten Gruppenunterschiede vor (Tab.1).

Schlussfolgerungen:

Gleich viele VKB-IB wie VKB-R zeigten ein massives Sprungdefizit (nur mit dem operierten Bein keine Einbeinsprünge möglich). Patienten, die einbeinige Sprünge 2 Jahre postoperativ ausführen konnten, hatten im SLH, SH und YBT geringere Werte als G, jedoch kein Leistungsdefizit. Anders als erwartet unterschieden sich die Patienten nicht im JPS und erzielten sogar bessere Werte als G. Dies deutet in beiden VKB Gruppen auf keinen Verlust der propriozeptiven Knie-Wahrnehmung hin, welche u.a. zum Funktionserhalt beizutragen scheint [2]. Unsere Ergebnisse unterstreichen eine Gleichstellung der VKB-IB zur VKB-R und einen möglichen Funktionserhalt nach VKB-IB in geplanten dynamischen Aufgaben.

[1] Szwedowski et al. 2021. *J Clin Med*

[2] Banios et al. 2022. *Diagnostics*

Tab. 1: Ergebnisse der funktionellen Tests

Parameter (n; VKB-IB/VKB-R/G)	VKB-Naht und InternalBrace	VKB- Rekonstruktion	Gesunde	P Wert
<i>Anthropometrie (n=30/28/30)</i>				
Geschlecht (männl./weib.)	14/16	14/14	14/16	
Alter (Jahre)	36.7 (10.4)	37.2 (10.4)	36.9 (10.3)	0.981
Body Mass Index (kg/m ²)	24.6 (3.5)	25.2 (3.6)	23.2 (4.0)	0.111
Follow-up (Monate)	25.4 (2.5)	24.8 (1.8)	-	0.583
<i>Winkelreproduktionstest (n=30/28/30)</i>				
Fehler 60° Knieflexion (°)	4.2 (2.7)	4.0 (1.9)	4.8 (2.3)	0.426
Fehler 30° Knieflexion (°)	4.7 (2.5)	4.5 (1.8)	4.9 (2.1)	0.717
<i>Y-Balance Test (n=30/28/30)</i>				
Gesamtscore (% Beinlänge)	89.6 (8.9)	88.4 (7.9)	90.8 (7.9)	0.533
<i>Einbeinsprünge</i>				
max. Distanz SLH (% KG) (n=29/27/30)	64.9 (22.8)	62.6 (14.6)	69.2 (15.6)	0.374
Anzahl SH (N) (n=24/25/30)	21 (14)	20 (15)	22 (13)	0.908

Werte als Mittelwert (Standardabweichung); VKB, vorderes Kreuzband; SLH, Vorwärtssprung; SH, Seitsprünge >40cm in 30s; KG, Körpergröße

V112

Screening athletes for ACL injury risk: Effects of game specificity on knee abduction moment

P. Mai (Offenburg/DE, Köln/DE), K. Bill (Köln/DE), J. Bartsch (Oslo/NO), S. Willwacher (Offenburg/DE, Köln/DE), U. Kersting (Köln/DE), T. Krosshaug (Oslo/NO)

Purpose

The study aimed to assess if a non-game-specific, preplanned (180°) cut with external horizontal pulling force (C180) can be used for ACL risk screening as an alternative to a previously established game-specific (~67°) cut when using the external knee abduction moment (KAM) [1].

Methods

3D motion analysis was used to calculate KAMs of 46 females (20±4 yrs) during three handball specific cuts (T) with increasing complexity (T1: simple preplanned, T2: preplanned with catching a ball, T3: like T2 but unanticipated) and during C180. RANOVAs of KAM magnitude, force, and the lever arm were used to quantify task effects. Spearman rank correlation was used to quantify rank changes in the athlete's KAM.

Results

Higher KAM was observed during C180, being different from T1 (Fig1). Compared to T1-T3, the lever arm was doubled in C180, whereas the GRF was 26% lower. KAM ranking was highly consistent within the game-specific cutting tasks but inconsistent between T1-T3 and C180 (Tab1).

Tab1: Spearman rank correlation coefficients. ** p<.001.

	T1	T1	T2	T1	T2	T3
	T2	T3	T3	C180	C180	C180
R	.70**	.81**	.68**	.12	.24	.18

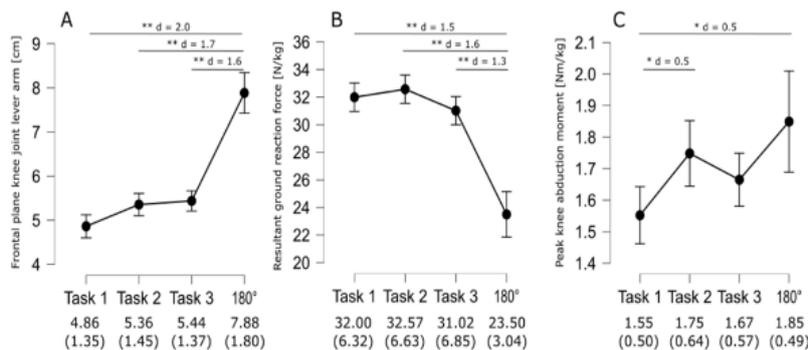
Conclusion

Different game-specific cuts produce similar KAMs, while athlete ranks remained unchanged. Using non-game-specific cuts, KAM magnitudes are comparable, but the athlete's rank changes. For injury screening, non-game-specific cuts provide different results from game-specific cuts. However, they may provide additional insight into injury risk mechanisms by potentially introducing other neuromuscular movement patterns.

Reference

[1] Kristianslund, et al. Br J Sports Med 2014;48: 779–783.

Abb. 1



V113

Reduziertes M. vastus medialis/lateralis EMG Verhältnis bei Volleyballerinnen mit chronischen Knieschmerzen auf sport-spezifischen Untergründen

C. Frese (Stuttgart/DE), D. Bubeck (Stuttgart/DE), W. Alt (Stuttgart/DE)

Fragestellung: Obwohl chronische Knieschmerzen im Volleyball häufig auftreten (1), wurden neuromuskulären Prozesse als potenzielle Risikofaktoren in sportspezifischen Bewegungen noch nicht untersucht. Es soll die neuromuskuläre Ansteuerung von gesunden und betroffenen Athletinnen in Sprüngen untersucht werden. **Methode:** 15 Nachwuchskaderathletinnen (6 verletzt/ 9 gesunde) führten einen diagnostischen Sprung (CMJ) und eine Angriffsbewegung in der Halle und auf zwei Sandarten durch. Die Muskelaktivitäten des M. vastus medialis und M. vastus lateralis wurden aufgezeichnet. **Ergebnis:** Alle betroffenen Athletinnen hatten Schmerzen im Stemmbein. Es zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen dem Stemmbein der betroffenen und gesunden Athletinnen in beiden Sprüngen. Die Bland-Altman-Analyse zeigte eine hohe Übereinstimmung der neuromuskulären Aktivität zwischen den Sprüngen und Untergründen für die betroffenen Beine, aber nicht für die unbetroffenen Beine und die gesunden Athletinnen. Diese hatten einen hohen Bias und eine hohe Differenz der Standardabweichung. **Schlussfolgerung:** AthletenInnen mit chronischen Knieschmerzen entwickeln die Schmerzen auf dem Stemmbein. Deshalb ist zu vermuten, dass die horizontale Landephase entscheidend ist. Sie haben ein geringes VM/VL-Verhältnis und können die neuromuskuläre Ansteuerung des betroffenen Beines nicht so gut an neue Bedingungen anpassen wie im unbetroffenen Bein oder gesunde Athletinnen. Diagnostische Sprünge im Labor können folglich ein guter Indikator für die neuromuskuläre Ansteuerung in komplexen Sprüngen auf verschiedenen Untergründen auf dem betroffenen Bein sein, aber nicht bei gesunden Beinen.

LITERATUR:

1) Barber Foss et al. , Phys Sportsmed. 2014

Abb. 1

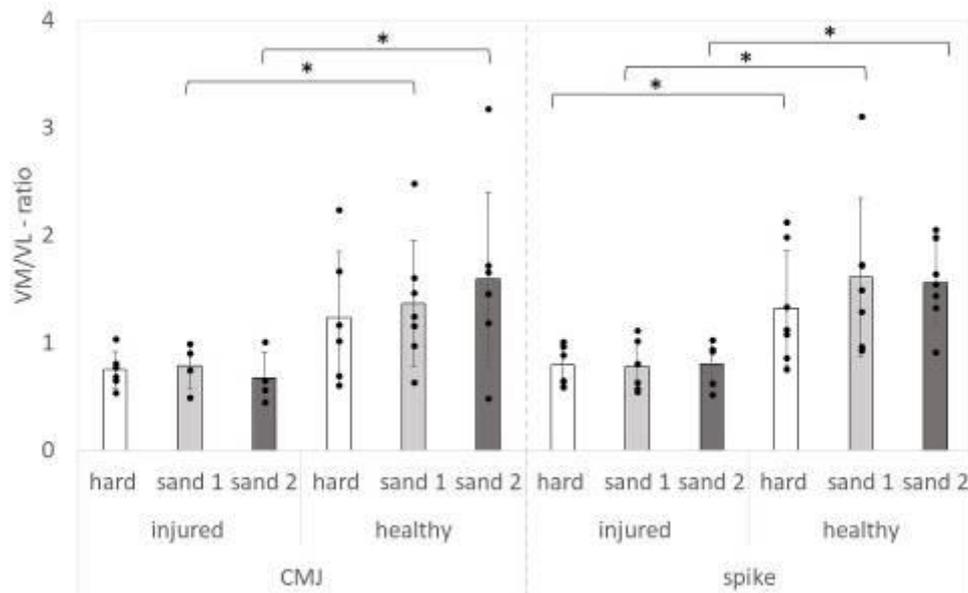


Abb. 1 VM/VL-Verhältnis von Athleten mit und ohne chronische Knieschmerzen. * p<0,05

Abb. 2

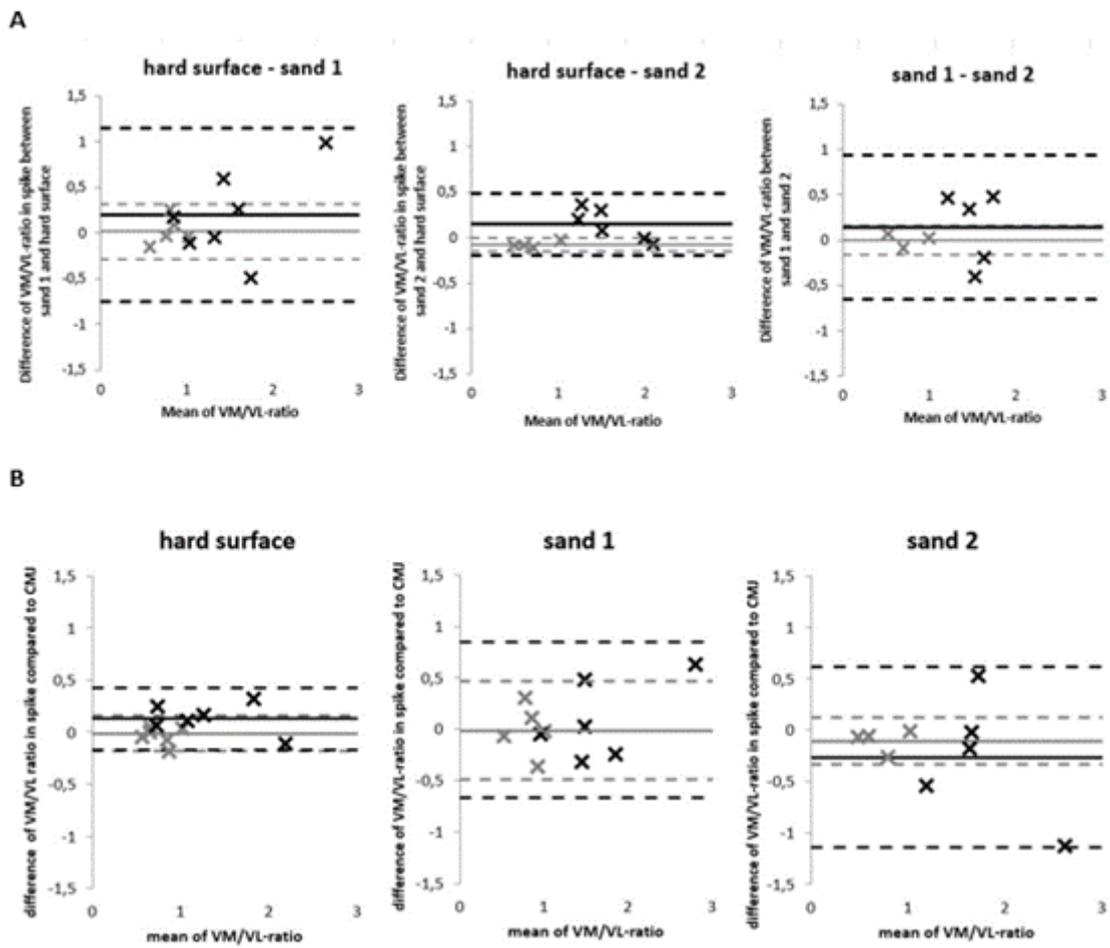


Abb. 2 Bland-Altman-Analyse des VM/VL-Verhältnis zwischen Sprüngen (A) und Untergründen (B). Graue Kreuze repräsentieren betroffene Beine, schwarze Kreuze gesunde Beine.

V114

Der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus des Vastus Lateralis variiert abhängig von der Ruderintensität: Eine EMG- und Ultraschall-basierte Crossover Testung

S. Held (Köln/DE), B. Raiteri (Bochum/DE), L. Rappelt (Köln/DE), D. Hahn (Bochum/DE), L. Donath (Köln/DE)

Einleitung: Durch die Beinbeugung und anschließende Beinbeugung können, im Vergleich zu einer reinen Beinstreckung, etwa 10% höhere Ruderleistungen generiert werden [1]. Diese Leistungserhöhung könnte auf Dehnungs-Verkürzungs Zyklus (DVZ) Mechanismen auf Faszikel-Ebene basieren. Da bisher jedoch noch kein DVZ auf Faszikel-Ebene im Rudern nachgewiesen wurde, untersuchte die aktuelle Studie die Muskelfaszikelkinematik des Vastus Lateralis (VL) beim Rudern.

Methoden: Fünfzehn männliche sub-elite Ruderer (19,5 ±1,6 Jahre; 1,94 ±0,06m; 91,9 ±5,4kg; 2.000m Bestleistung: 456 ±33W) absolvierten 60-s-Ruderintervalle auf einem Ergometer mit einem traditionellen Stil bei niedriger (LiR) und hoher Intensität (HiR) und einem *micro-pause* Ruderstil bei niedriger Intensität (MpR). Muskelaktivität, Kniegelenkwinkel und die Veränderungen der Faszikellänge des VL wurden durch Elektromyographie, Inertialsensoren bzw. B-Mode-Ultraschall gemessen.

Ergebnisse: Alle Ruderbedingungen zeigten eine aktive Faszikeldehnung ($p \leq 0,001$, standardisierte mittlere Differenz (SMD) $\geq 0,72$) und eine anschließende aktive Faszikelverkürzung. Dauer, Amplitude und Geschwindigkeit der aktiven Faszikeldehnung (rANOVA: $p \leq 0,001$, $\eta_p^2 = 0,49$) unterschieden sich nicht signifikant (post-hoc: $p \geq 0,17$; SMD $\leq 0,26$) zwischen LiR und MpR, waren aber bei HiR signifikant erhöht (post-hoc: $p \leq 0,001$; SMD $\geq 0,70$). Der Anteil der Ruderzyklen mit aktiver Faszikeldehnung (rANOVA: $p \leq 0,001$, $\eta_p^2 = 0,95$; post-hoc: $p \leq 0,001$, SMD $\geq 0,87$) war ebenfalls signifikant höher für HiR (98,3 ±12,9%) im Vergleich zu LiR (65,0 ±48,1%) und MpR (68,3 ±46,9%).

Fazit: Rudern beinhaltet einen DVZ sowohl auf der MTU- als auch auf Faszikel-Ebene, wobei die aktive Faszikeldehnung bei HiR am stärksten ausgeprägt war.

1. Held S, Siebert T, Donath L. 10% Higher Rowing Power Outputs After Flexion-Extension-Cycle Compared to an Isolated Concentric Contraction in Sub-Elite Rowers. *Frontiers in Physiology*. Frontiers Media S.A.; 2020;11:521.

V115

Long-term athletic training and maturation effects on muscle-tendon properties in preadolescence

N. Pentidis (Berlin/DE), F. Mersmann (Berlin/DE), S. Bohm (Berlin/DE), A. Schroll (Berlin/DE), E. Giannakou (Komotini/GR), N. Aggelousis (Komotini/GR), A. Arampatzis (Berlin/DE)

Introduction

The effects of training and maturation on muscle and tendon during preadolescence are yet unclear. Therefore, the aims of this study were (a) to compare the properties of the triceps surae muscle-tendon unit between preadolescent athletes and non-athletes and (b) to examine their development over 1-year with regard to potential imbalances between muscle and tendon adaptation.

Methods

We recruited 21 preadolescent artistic gymnastic athletes and 11 matched-age (9 yrs old) and maturity (Tanner stage I & II) untrained controls. Muscle strength (MS) of the plantar flexors, Gastrocnemius medialis (GM) morphometrics and the Achilles tendon (AT) mechanical properties were measured every 3 months for 1-year using dynamometry, ultrasonography and electromyography. A linear mixed-effects model for repeated measures was used to compare the outcomes between groups and to investigate their development over time.

Results

The athletes trained on average for 20 h/wk. They demonstrated greater MS but no differences in GM morphometrics and AT stiffness compared to non-athletes. MS and GM thickness increased in both groups during the 1-year, however AT stiffness did not show any alterations. Athletes showed greater fluctuations in MS, pennation angle and maximum tendon strain than non-athletes over time. The frequency of individuals that reached high-level strain ($\geq 9\%$) during the 1-yr period was higher in athletes (up to 67%).

Conclusion

We found increased muscle strength and a high prevalence of high-level tendon strain in preadolescent athletes. The hormonal status could be a factor attenuating training-induced alterations of AT stiffness during preadolescence. Athletic training in preadolescence is further associated with higher fluctuations of Achilles tendon strain, temporarily increasing the mechanical demand for the tendon, which indicates the need for individual training concepts to preserve a balanced adaptation in preadolescent athletes.

V116

Identifying adductor injury mechanisms in elite youth football players – Does adolescent aging play a role?

A. Faßbender (Köln/DE), T. Dupré (Köln/DE), W. Potthast (Köln/DE)

In football the majority of injuries affect the lower extremity muscles, with the hip adductor muscle group being the second most frequently affected site of injury¹. Yet, mechanisms of adductor injuries and their etiology remain unclear.

This study aimed to investigate the frequency of the respective underlying injury mechanisms in youth football players from German professional academies via questionnaire in a cross-sectional design.

Table 1. Distribution of adductor injury mechanisms and descriptive information about the whole sample (injured players) as well as the same players divided into mechanism groups (Kicking, Change of direction, Reaching, Jumping and Sprinting/Running).

	Number of players	Players with previous groin injury	Age in years	Playing experience in years	Time since injury in months
Injured players	26	12	15.65 (±1.60)	8.71 (±3.74)	16.62 (±10.45)
Kicking	11	5	16.09 (±2.00)	8.45 (±4.32)	13.01 (±9.97)
Change of direction (CoD)	5	2	15.20 (±1.10)	10 (±5.15)	16.02 (±2.99)
Reaching	7	5	15.14 (±1.21)	7.93 (±2.35)	15.38 (±9.66)
Jumping	1	0	14	10	28.23
Sprinting/Running	2	0	17 (±0)	9 (±2.83)	36.53 (±7.66)

5.5% of all active players in U13-U19 teams of four professional football clubs had an adductor injury in the past four years (Table 1). The results support the conclusion of Serner et al.², describing kicking, change of direction (CoD) and reaching as critical movements for the adductor muscle group in football. This sample of youth players had a higher proportion of kicking related adductor injuries than has been shown in adult players². The underlying reason for this could be increasing segment masses during the growth process, introducing higher force requirements to decelerate the lower leg at the end of the leg-cocking phase during passing, manifesting in increased muscle stress³.

The high proportion of kicking as an adductor injury mechanism in the present sample of adolescent players in comparison to adult players, who were most frequently injured via CoD, could indicate an effect of age on adductor injury risk during kicking.

[1] Hägglund, M, Waldén, M, Ekstrand, J. 2013. *Br J Sports Med*.

[2] Serner, A. et al. 2019. *Br J Sports Med*.

[3] Dupré, T. et al. 2020. *Med Sci Sports Exerc*.

V117

Beeinflussen Aktivitätsniveau und Beinachsenstabilität Frühschädigungen des Kniegelenkknorpels bei Jugendlichen?

E. Böker (Leipzig/DE), D. Brock (Leipzig/DE), M. Witt (Leipzig/DE), C. Roth (Leipzig/DE)

Eine stabile Beinachse und eine entsprechend ausgeprägte Muskulatur sind unerlässlich, um einwirkende Kräfte im Kniegelenk kompensieren zu können. Der hyaline Knorpel verfügt über eine geringe Regenerationsfähigkeit (Tuan et al., 2013), weshalb Schäden häufig nicht vollständig ausheilen (Crema et al., 2011). Dies zieht eine geringere Belastbarkeit nach sich, welche mit Kniegelenksschäden assoziiert ist (Salzmann et al., 2018). Ziel dieser Studie ist es daher, bereits bei Kindern die Beinachsenstellung und den Belastungsumfang in Bezug auf Knorpelveränderungen zu untersuchen, um einer Fehlbelastung und damit verbundenen frühzeitigen Kniegelenksschäden vorzubeugen.

Im Rahmen einer Querschnittsstudie wurden von 37 männlichen Probanden (15 Volleyballer, 7 Adipöse, 15 Kontrollen; $M = 16 \pm 1$ Jahre) das Aktivitätsniveau (MoMo) und die Beinachsenstabilität mithilfe eines Motorikscores (mod. nach VBG) erfasst. Außerdem wurde eine 3 T MRT-Untersuchung mit dezidiertem 16 Kanal Kniespule durchgeführt.

Volleyballer zeigen das erwartete höhere Aktivitätsniveau ($p < .01$) und auch prozentual weniger Valgusstellungen im Kniegelenk im Vergleich zu den Adipösen und zu den Kontrollen (VB = 20%, AD = 43%, K = 36%). Sie weisen zudem signifikant mehr fokale Erhöhungen der T2-Zeiten in den Mappingsequenzen des retropatellaren Knorpels auf als die Kontrollen ($p = .01$). Im Zusammenhang mit der höheren Aktivität treten Frühformen von Knorpelveränderungen insbesondere im Bereich der medialen Kondylen auf ($p < .05$). Dagegen werden für die Adipösen im Vergleich mit den Kontrollen ein ähnliches Aktivitätsniveau sowie die deutliche Tendenz zum Valgus festgestellt.

Sportartspezifisches, leistungsorientiertes Training im Volleyball steht nicht im Widerspruch zu einer stabilen Beinachse. Allerdings gibt es Hinweise auf positionsspezifische Unterschiede in der Beanspruchung des Knorpels. Adipöse zeigen im Vergleich dazu deutlich größere Achsabweichungen und Gelenkschädigungen bereits im Jugendalter.

Postersession I • Sportbiomechanik

P1

Effekte eines gezielten Stabilitätstrainings des Vor- und Rückfußes auf die Gelenkfunktion und die Balancefähigkeit bei Personen mit chronischer Instabilität des Sprunggelenks: Eine randomisierte vergleichende Pilotstudie

M. Groß (Krefeld/DE), M. Alfuth (Krefeld/DE)

Der Vor- und der Rückfuß können nach einer Verletzung des Sprunggelenks individuell zur Entwicklung einer chronischen Instabilität beitragen. Ziel war, die Effekte eines gezielten Stabilitätstrainings des Vor- und Rückfußes im Vergleich zu bewährtem Balancetraining zu untersuchen. Dreizehn Teilnehmer (TN) – 5 ♀, 8 ♂ – wurden, nach randomisierter Zuteilung in eine Interventionsgruppe und eine Vergleichsgruppe, vor und nach einem Balancetraining mittels unterschiedlicher instabiler Geräte analysiert. Die TN der Interventionsgruppe (n = 6; 29,0 ± 5,9 Jahre) absolvierten über einen Zeitraum von 6 Wochen ein Balancetraining (3x/Woche) mittels des Ministabilitätstrainers, das isoliert die Stabilität des Vor- und Rückfußes adressiert. Die TN der Vergleichsgruppe (n = 7; 28,0 ± 5,7 Jahre) absolvierten das Balancetraining mittels eines Wobbleboards, das global die Stabilität des Sprunggelenks erfordert. Erfasst wurden die Funktion des Sprunggelenks mittels des Foot and Ankle Ability Measure (FAAM-G), die dynamische Balance mittels des Y-Balance Tests (YBT) und die posturale Stabilität mittels des modifizierten Balance Error Scoring System (mBESS). Die Signifikanz der Unterschiede der Veränderungen wurden nach 6 Wochen und im Follow-up nach 10 Wochen (FAAM-G) zwischen den Gruppen mittels Varianzanalyse (mixed ANOVA) geprüft ($p < 0,05$). Post-hoc Tests ($p < 0,05$) mit Korrektur nach Bonferroni wurden zur Signifikanzprüfung der Unterschiede zwischen den Gruppen und innerhalb der jeweiligen Gruppe zu den Messzeitpunkten verwendet. Beide Gruppen zeigten im YBT und mBESS nach der Intervention signifikante Verbesserungen ($p < 0,05$). Zwischen den Gruppen gab es keinen signifikanten Unterschied ($p > 0,05$). Das Training des Vor- und Rückfußes scheint einen vergleichbaren, klinisch relevanten Effekt auf die dynamische Balance und posturale Stabilität zu haben wie das Training auf dem Wobbleboard. Die empfundene Gelenkfunktion scheint von beiden Trainingsformen unbeeinflusst zu sein.

P2

Impact of running speed and slope on instantaneous and average vertical loading rates

M. Hipper (Offenburg/DE), P. Mai (Offenburg/DE, Köln/DE), L. Robertz (Köln/DE), M. Kurz (Östersund/DE), K. Bill (Köln/DE), W. Pothast (Köln/DE), S. Willwacher (Offenburg/DE)

Purpose To compare average and instantaneous loading rates (VALR, VILR) of the vertical ground reaction force (vGRF) at different running speeds and slopes.

Background Studies have shown that VALR and VILR are considered risk factors for running injuries such as plantar fasciitis and tibial stress fractures [1]. However, how loading rates change with speed and slope is poorly described in the literature.

Methods 23 injury free runners completed an instrumented treadmill assessment. All participants ran at least 30 s at a speed of 2.5, 3 and 3.5 m/s each and a slope of 0%, ±5%, ±10%, ±15% and ±20%. VALR and VILR were calculated from measured vGRF. Two-way rANOVAs (slope x speed) were used for VALR and VILR comparisons.

Results VALR ($p < .001$; $\eta^2 = .555$) and VILR ($p < .001$; $\eta^2 = .576$) showed a significant interaction effect (slope x speed). During downhill running the speed effect (VALR: $d = .553 \pm .111$; VILR: $d = .525 \pm .072$) was higher than for uphill running (VALR: $d = .333 \pm .115$; VILR: $d = .416 \pm .123$) based on Cohens d (Fig. 1). When considering partial eta squared values, the speed effect (VALR: $\eta^2 = .933$; VILR: $\eta^2 = .946$) in this study was stronger than the slope effect (VALR: $\eta^2 = .824$; VILR: $\eta^2 = .858$).

Conclusion Both parameters, speed and surface inclination, affect the amplitude of biomechanical risk factors associated with plantar fasciitis and tibial stress fractures. Therefore, injury risk monitoring must take these into account. Not only speed is relevant for the risk of injury but also the running environment. In order to prevent injuries, reference scores should be created that consider both parameters. Reference [1] Willwacher, S., Kurz, M., Robbin, J. et al. Running-Related Biomechanical Risk Factors for Overuse Injuries in Distance Runners: A Systematic Review Considering Injury Specificity and the Potentials for Future Research. Sports Med (2022).

Abb. 1

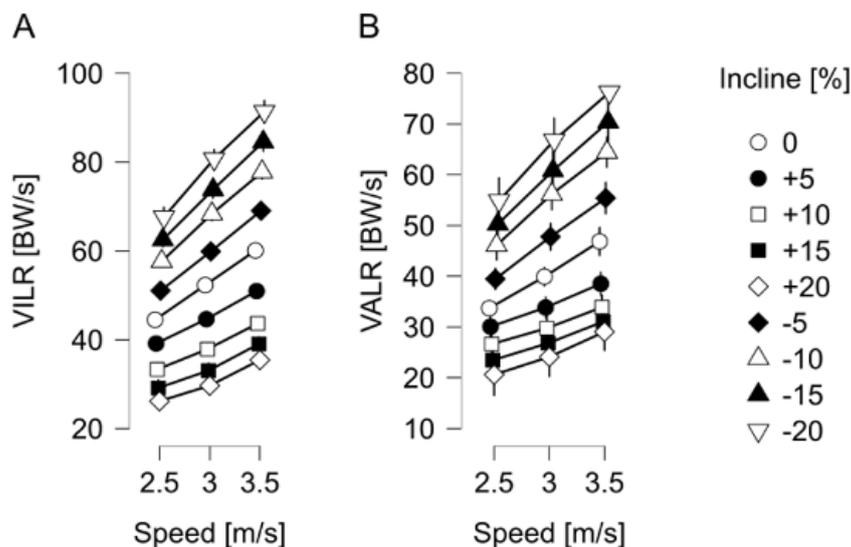


Fig1: (A) VILR and (B) VALR for all speeds and slopes.

P3

Altersabhängige Beweglichkeit des Hüftgelenks und Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur bei erwachsenen Tischtennispielern: Eine explorative Querschnittstudie

M. Alfuth (Krefeld/DE), A. Diekmann (Krefeld/DE)

Die Beweglichkeit der unteren Extremität trägt zur Bewegungsausführung von Schlägen im Tischtennis bei. Die Rotation der Hüftgelenke ist eine wichtige Komponente zur Generierung einer hohen Kraft und Beschleunigung der Topspin-Vorhand und -Rückhand. Eine eingeschränkte Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur kann ein Faktor bei der Entstehung verschiedener Überlastungsschäden im Sport sein und kann die individuelle Leistungsfähigkeit beeinflussen. Altersabhängige Unterschiede der Gelenkbeweglichkeit und Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur wurden allgemein bestätigt. Im Tischtennissport liegen dazu bisher keine Erkenntnisse vor. Das Ziel war, die altersabhängige Beweglichkeit des Hüftgelenks (Range of Motion, ROM) und die Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur bei erwachsenen Tischtennispielern zu untersuchen. Zweiundzwanzig rechtshändige Tischtennispieler – 10 weibliche, 12 männliche – nahmen teil. Sie wurden in zwei Gruppen eingeteilt (G1: Alter = 18-28 Jahre; G2: Alter = 32-45 Jahre). Die Beweglichkeit des Hüftgelenks (ROM) wurde mittels Goniometer und die Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur wurde mittels Sit-and-Reach Test gemessen und hinsichtlich Körpergröße und Körpergewicht normiert. Die Signifikanzprüfung der Unterschiede zwischen den Gruppen erfolgte mittels des unabhängigen t-Tests ($p \leq 0,05$). Es wurden signifikante Unterschiede in der passiven (G1: $9,7 \pm 2,1$ versus G2: $7,7 \pm 1,7$; $p=0,03$) und aktiven (G1: $9,4 \pm 2,2$ versus G2: $7,5 \pm 1,6$; $p=0,04$) Beweglichkeit (ROM) in Außenrotation des linken Hüftgelenks festgestellt. Rechtshändige Tischtennispieler im Alter zwischen 32 und 45 Jahren scheinen eine geringere Beweglichkeit des Hüftgelenks in Außenrotation des linken Beines im Vergleich zu Spielern im Alter zwischen 18 und 28 Jahren aufzuweisen. Ob die geringere Beweglichkeit eine altersbedingte, sportspezifische funktionelle Adaptation ist und die Biomechanik bei Tischtennisschlägen beeinflusst sollte zukünftig untersucht werden.

P4

Vergleich von Gehen in der Ebene und Gehen auf einem Laufband: Analyse der Bodenreaktionskräfte mit spm1d

S. Durstberger (Wien/AT), K. Widhalm (Wien/AT), P. Putz (Wien/AT)

Fragestellung

Mithilfe von Laufbändern mit integrierten Kraftmessplatten (KMP), ist es möglich die Kinetik über viele Zyklen zu analysieren. Im Vergleich zu Gehen in der Ebene, kommt es zu kleinen Differenzen [1]. Das Ziel dieser Arbeit war es Unterschiede der Kinetik zu untersuchen und mit spm1d zu analysieren.

Methoden

20 Proband*innen gingen (w:13/m:7; Alter: $24,9 \pm 4,5$ Jahre; BMI: $22,5 \pm 1,6$) auf einem Laufband mit derselben Geschwindigkeit, wie in der Ebenen. Die Gangstrecke (1000Hz, AMTI) und das Laufband (1000Hz, ForceLink) waren jeweils mit zwei KMP instrumentiert. Fünf korrekte KMP Treffer wurden für beide Seiten analysiert. Die KMP Daten des Laufbandes wurden mit einem Butterworth Tiefpassfilter (12 Hz, 4. Ordnung, ohne Phasenverschiebung) gefiltert. Gangevents wurden über die vertikale BRK mit einem Schwellwert von 20 [N] detektiert. Die Gangzyklen wurden zeitnormalisiert und gemittelt. Die körperrgewichtnormalisierten Bodenreaktionskräfte (nBRK) [N/kg] wurden gemittelt und mit spm1d (gepaarter t-Test, $\alpha = 0,05$) analysiert. Der zweite Peak der nBRK quer zur Gangrichtung (2Pq-nBRK) und die Schrittbreite wurden mit einem gepaarten t-Test ($\alpha = 0,05$) verglichen.

Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der spm1d. Die Mittelwerte der 2Pq-nBRK unterscheiden sich sowohl links ($t(19) = -7,334$, $p < 0,001$, $d = -1,64$) als auch rechts ($t(19) = -6,274$, $p < 0,001$, $d = -1,40$) signifikant zueinander. Die Schrittbreite zeigte keine signifikanten Unterschiede.

Schlussfolgerungen

Bei den nBRK kommt es bei den meisten ansteigenden und abfallenden Flanken zu Unterschieden in der spm1d Analyse. Ursache kann eine geringe Phasenverschiebung aufgrund von unterschiedlichen Gangevents sein. Am Laufband kommt es zu einer Erhöhung der q-nBRK, obwohl die Schrittbreite keinen Unterschied aufweist. Die Ergebnisse decken sich mit der Arbeit von van der Krogt et al.[1].

[1] van der Krogt et al. (2015), Journal of Biomechanics, p 3577-83

Abb. 1

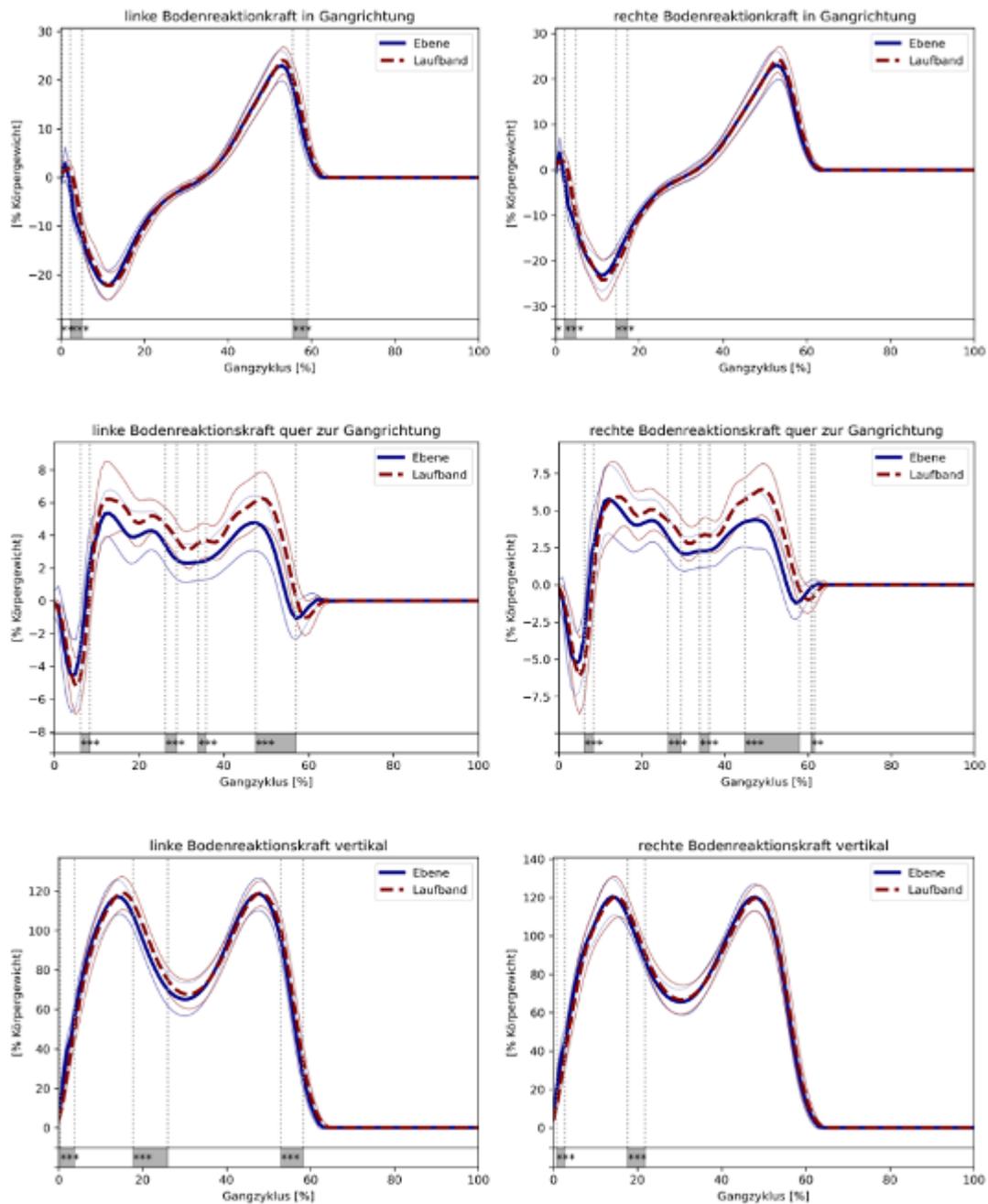


Abbildung 1: SPM1d Bodenreaktionskräfte, Ebene vs. Laufband. Im Bereich der grauen Kästchen kommt es zu einem signifikanten Unterschied zwischen Gehen in der Ebene und Gehen am Laufband, *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.

P5

Auswirkung individueller Krümmungen von Wirbelsäulen – neue Erkenntnisse durch Computersimulation

A. Müller (Koblenz/DE), R. Rockenfeller (Koblenz/DE), K. Gruber (Koblenz/DE)

Die Wirbelsäule zeigt interindividuell eine breite Variation in ihrer Doppel-S-Form. Hohe mechanische Belastungen können in der Lendenwirbelsäule (LWS) zu degenerativen Veränderungen und damit zu starken Schmerzen führen. Für die medizinische Therapie stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Krümmung bei gesunden Wirbelsäulen auf die Lastverteilung in Bandscheiben, Bändern und Facettengelenken hat und wie diese muskulär beeinflusst werden kann.

Die Computersimulation ist dabei eine moderne Methode, die quantitative Aussagen über die Belastungsverteilung ermöglicht. Im Rahmen der Computermodellierung lassen sich standardisierte Bedingungen herstellen und so generelle

Zusammenhänge zwischen der vorliegenden Krümmung und den wirkenden Kräften in den Einzelstrukturen aufdecken. Durch die Einführung entsprechender Muskelzüge inklusive der geltenden Kraftgleichungen in das Computermodell können die Effekte der wirkenden Muskelkräfte auf die Belastungsverteilung simuliert werden.

Aus den CT Daten von 28 Patienten mit gesunder LWS erstellten wir 28 individuelle LWS Computermodelle mit Muskulatur. Die individuellen Geometrien der Wirbel und ihre Anordnung lieferten den Lordose-Winkel (LL), der in einem Bereich von 28° bis 66° vorlag. Alle Modelle wurden einer standardisierten Belastungssituation ausgesetzt. Mittels Vorwärts-Simulation wurden die Kompressionskräfte, die Scherkräfte und die Drehmomente in den Bandscheiben sowie die Kräfte in den Facettengelenken bestimmt.

Die Resultate der Computersimulationen zeigen, dass es tatsächlich signifikante, von der Krümmung abhängige Belastungen von spinalen Strukturen gibt.

Mueller, A., Rockenfeller, R., Damm, N., Kosterhon, M., Kantelhardt S.R., Aiyangar, A .K., Gruber, K. (2021). Load Distribution in the Lumbar Spine During Modeled Compression Depends on Lordosis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, doi: 10.3389/fbioe.2021.661258

Abb. 1

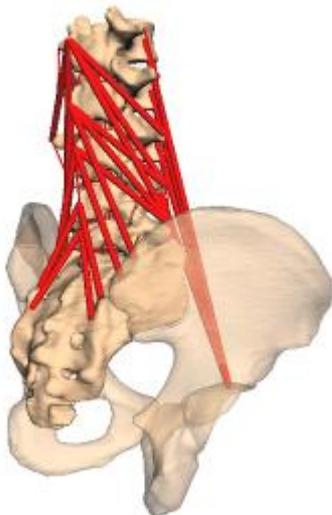


Abb.1: Individuelles Computermodell der LWS mit Muskulatur

P6

Low power wearable sensors for monitoring knee joint instabilities

K. Sheeja Prakash (Freiburg i. Br./DE), V. C. von Einem (Freiburg i. Br./DE), K. Izadpanah (Freiburg i. Br./DE), H. Mayr (Freiburg i. Br./DE), A. Bernstein (Freiburg i. Br./DE), P. Woias (Freiburg i. Br./DE), L. M. Comella (Freiburg i. Br./DE)

The Anterior Cruciate Ligament (ACL) tear is one of the most common knee injuries. In Germany, around 45 cases occur in every 100,000 inhabitants per year, for a total of 36,900 cases out of 82 million people [1].

Currently, the diagnosis is done using a bulky and uncomfortable system which is difficult to operate, which measures only static movements [2][3]. As a result, the repeatability and reliability of the measurements is relying on the experience of the physician [4]. Moreover, a full analysis of the pathological changes due to an ACL rupture requires not only static but also a dynamic observation of the knee movement [5]. Therefore, a wearable sensor platform in the form of a smart patch has been developed. The smart patch consists of a flexible capacitive strain gauge sensor [6] optimized for this application and a low-power electronic unit for signal acquisition, data processing and wireless communication. This smart sensor system is a flexible patch in which all necessary components are integrated without compromising the desired high elasticity of the sensor elements. Production methods were developed for the integration of stretchable sensor and flexible electronics by making it fully adherent to the skin. Moreover, an attentive analysis of the material and its behavior has been done to obtain reliable measurements providing for a full biocompatibility and medical compliance of the platform.

The result is a flexible and ergonomic unit, which can be used for the diagnosis in the clinic. It can also be worn by the patients in everyday life for continuous observation and dynamic monitoring of the ACL tear over an extended time period, to gain a better understanding of pathology and methods to cure it. Moreover, it shows a low power consumption for a long battery lifetime and is wireless for an easy data retrieval. In the presentation, details on the system concept, its fabrication and its first application at patients will be reported.

[1] D. H. K. Widhalm, "Kreuzbandriss," *Österreichische Ärztezeitung* Nr. 18, Sep. 2017.

[2] Mayr, H., Stöhr, A. *Aktueller Stand der instrumentellen Messung der Knielaxität. Arthroscopie* **23**, 56–61 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00142-009-0546-7>

[3] M. Ahldén u. a. "Rotatory knee laxity. "In: *Clinics in sports medicine* 32.1 (Jan.2013), S. 37–46. issn: 1556-228X. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2012.08.005>

[4] Branch TP, Mayr HO, Browne JE, Campbell JC, Stoehr A, Jacobs CA. *Instrumented examination of anterior cruciate ligament injuries: minimizing flaws of the manual clinical examination. Arthroscopy*.2010 Jul;26(7):997-1004

[5] Zens, Martin, et al. "Novel approach to dynamic knee laxity measurement using capacitive strain gauges." *Knee surgery,sports traumatology, arthroscopy* 23.10 (2015): 2868-2875.

[6] M. Zens, "Kapazitive Polydimethylsiloxansensoren für biomechanische Anwendungen," Ph.D. dissertation, *Technischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau*, Mar. 2016.

Postersession II • Bewegungsanalyse und Freie Themen

P7

Videorasterstereographisch gemessene Wirbelsäulen- und Beckenbewegungen von Kniearthrose-Patienten im Gang auf einem Laufband

C. Wolf (Mainz/DE), J. Konradi (Mainz/DE), J. Huthwelker (Mainz/DE), R. Westphal (Mainz/DE), P. Drees (Mainz/DE), U. Betz (Mainz/DE)

Fragestellung Wie sehen die Kompensationsmechanismen der Kniearthrose(KOA)-Patientengruppe (PG) im Gang auf einem Laufband auf Wirbelkörperebene aus?

Methoden Erwachsene KOA-Patienten wurden in die Studie einbezogen. Die Messungen der Videorasterstereographie bei 3km/h wurden zu einer alters- und BMI-gematchten gesunden Vergleichsgruppe (VG) in Bezug gesetzt.

Ergebnisse 29 Patienten (Alter 61±10 Jahre) wurden eingeschlossen. Das Becken rotierte mehr in kontralateraler und weniger in ipsilateraler Richtung (Transversalebene, TE). Beide Gruppen zeigten einen Rotationsmittelpunkt-Shift des Beckens und der darüber liegenden Wirbelkörper (WK). Die meisten WK waren stärker ipsilateral geneigt (Frontalebene, FE) und maximal kontralateral gedreht (TE).

Schlussfolgerungen Kompensationsmechanismen bestehen in der PG in Form einer Verlängerung des ipsilateralen Schritts durch eine verstärkte kontralaterale Beckenrotation. Sowohl die unteren Lenden-WK als auch die oberen thorakalen WK rotierten gegen den Erwartungen stärker als bei der VG [1]. In der FE scheint es einen ipsilateralseitigen Oberkörper-Shift zu geben [2]. Im Gegensatz zur Literatur war das Becken nicht stärker ipsilateral geneigt [3]. In weiteren Studien sollte der Einfluss einer Gelenkersatzoperation auf diese Kompensationsmechanismen untersucht werden.

1. Turcot, K., et al., Does knee alignment influence gait in patients with severe knee osteoarthritis? Clin Biomech (Bristol, Avon), 2013. 28(1): p. 34-9.
2. Iijima, H., et al., Proximal gait adaptations in individuals with knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. J Biomech, 2019. 87: p. 127-141.
3. Huang, S.-C., et al., Effects of severity of degeneration on gait patterns in patients with medial knee osteoarthritis. Medical Engineering & Physics, 2008. 30(8): p. 997-1003.

Abb. 1

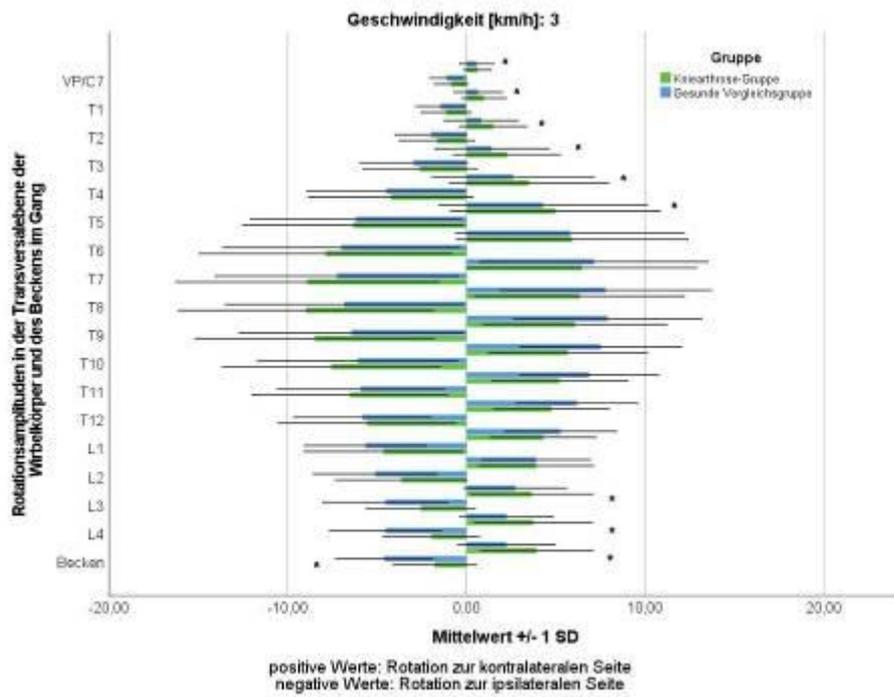
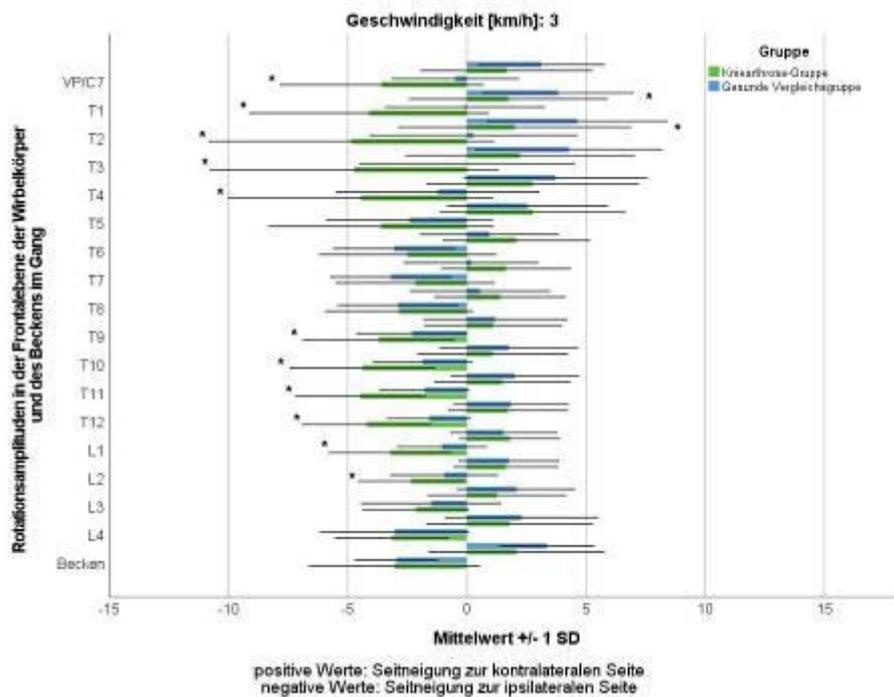


Abb.1+2: Amplituden in [°] der WK und des Beckens der PG und der VG bei 3km/h in der TE und FE. * Mann-Whitney-U-Test; Trend beschreibende Unterschiede

Abb. 2



P8

Bewegungsdatenbank zur Entwicklung von IMU-basierten Algorithmen bei neurologischen Erkrankungen
C. Hansen (Kiel/DE), E. Warmerdam (Homburg/DE), R. Romijnders (Kiel/DE), M. Hobert (Kiel/DE), W. Maetzler (Kiel/DE)

Mobilitäts- und Bewegungsmuster können als Prodromal- und Progressionsmarker bei neurologischen Erkrankungen können. Inertiale Messeinheiten (IMUs) können im Gegensatz zu kamerabasierten Systemen außerhalb der Klinik genutzt werden und Bewegungsmuster im häuslichen Umfeld aufzeichnen.

Aus diesem Grund wurde die Kieler Mobilitätsdatenbank geschaffen, die eine Reihe an (un)supervidierten Tests kombiniert und Bewegungen sowohl mit IMUs als auch mit einem kamerabasierten System umfasst. Insgesamt wurden 167 Probanden (gesunde ältere (18-60 years) ältere (>60 years), Personen mit Parkinson, Schlaganfall Multiplesklerose, chronischen Rückenschmerzen) in die Studie eingeschlossen. Jedes Körpersegment wurde mit einem IMU und einem Marker-Cluster ausgestattet und gemessen.

Zeitsynchronisierte Daten bestehend aus 15 IMU und 3D Positionen können öffentlich genutzt werden um innerhalb der o.g. Gruppen wissenschaftliche Vergleiche zu ziehen oder IMU-basierte Algorithmen zu entwickeln und zu validieren.

Bereits erste Publikationen konnten aus dem Datensatz gewonnen werden und wir hoffen auf eine breite internationale Nutzung gerade innerhalb der Deutschen Gesellschaft für Biomechanik!

- Postural transitions detection and characterization in healthy and patient populations using a single waist sensor (Atrsaei et al., J Neuroeng Rehabil, 2020).
- Quantification of arm swing during walking in healthy adults and Parkinson's disease patients: Wearable sensor-based algorithm development and validation (Warmerdam et al., Sensors, 2020).
- Validation of IMU-based gait event detection during curved walking and turning in older adults and Parkinson's disease patients (Romijnders et al, J Neuroeng Rehabil, 2021).
- Proposed mobility assessments with simultaneous full-body inertial measurement units and optical motion capture in healthy adults and neurological patients for future validation studies: study protocol (Warmerdam et al., Sensors, 2021).

P9

Beschreibung einer Methode zur magnetometerbasierten Abstandsmessung für die Bestimmung der subtalaren Achse

A. Seeger (Stuttgart/DE), S. Schlechtweg (Stuttgart/DE), L. Klaiber (Stuttgart/DE), W. Alt (Stuttgart/DE)

Fragestellung: Die Ermittlung der subtalaren Achse auf Basis von Inertial Measurement Units (IMU) bietet viele Vorteile hinsichtlich Ökonomie und Genauigkeit (1). Problematisch ist der Bezug der durch das IMU-Gyroskop ermittelten Achse zum anatomischen Koordinatensystem (KO). Ein Lösungsansatz und dessen Reliabilität soll präsentiert werden.

Methode: Mit dem IMU-Magnetometer und einem Elektromagneten (EM) soll die relative Position des IMU-KO zum anatomischen KO ermittelt werden. Die durch den EM erzeugte Änderung der magnetischen Flussdichte kann mit dem Magnetometer erfasst und über einen mathematischen Zusammenhang bzw. eine Kalibrierfunktion in eine Distanzeinheit umgerechnet werden (Abb. 1). Der IMU wird in beliebiger Ausrichtung am lateralen Rückfuß befestigt und der EM nacheinander an mehreren Punkten entlang der Sagittal- und Transversalebene positioniert (Abb. 2). Dabei wird die Flussdichte aufgezeichnet, mit Hilfe der Kalibrierfunktion in Abstandsvektoren überführt und so die Position des Sensors relativ zu den einzelnen Punkten in den anatomischen Ebenen bestimmt. Die ermittelte subtalare Achse kann nun in Bezug zum anatomischen KO gesetzt werden. Es wurden $n = 10$ statische Flussdichtemessungen in einem definierten Abstand zwischen EM und IMU durchgeführt. Weiterhin wurde die Rekonstruktion des anatomischen KO an einem Probanden in 5 Wiederholungen getestet.

Ergebnisse: Der Abstand konnte mit einer Standardabweichung von < 0.01 cm korrekt ermittelt werden. Zwischen den gemessenen Sagittalebene lag eine Abweichung von ± 0.5 mm und zwischen den Transversalebene von ± 0.5 mm vor.

Schlussfolgerung: Die vorgestellte Methode kann sowohl für die hier genannte als auch bei anderen Messanwendungen für die Lokalisation eines IMU genutzt werden.

LITERATUR:

(1) Schlechtweg, S. (2020), Diss.

Abb. 1

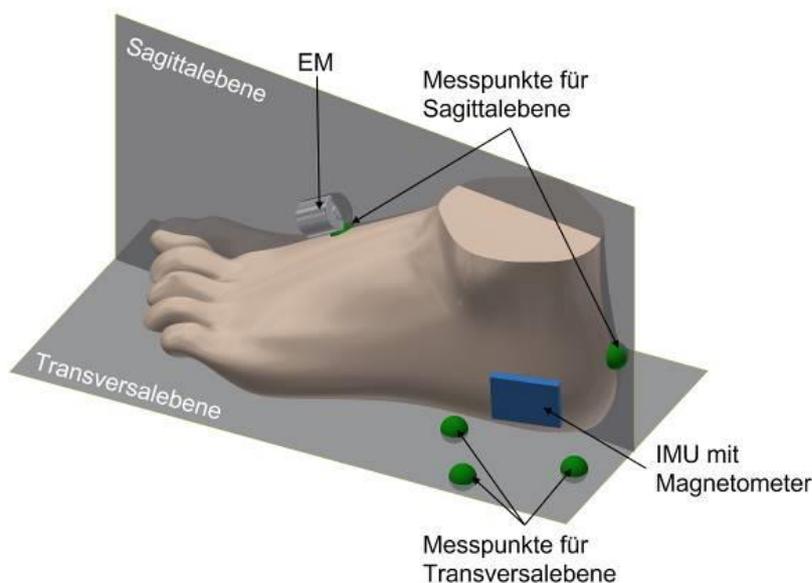


Abb. 1: Kalibrierfunktion.

Abb. 2

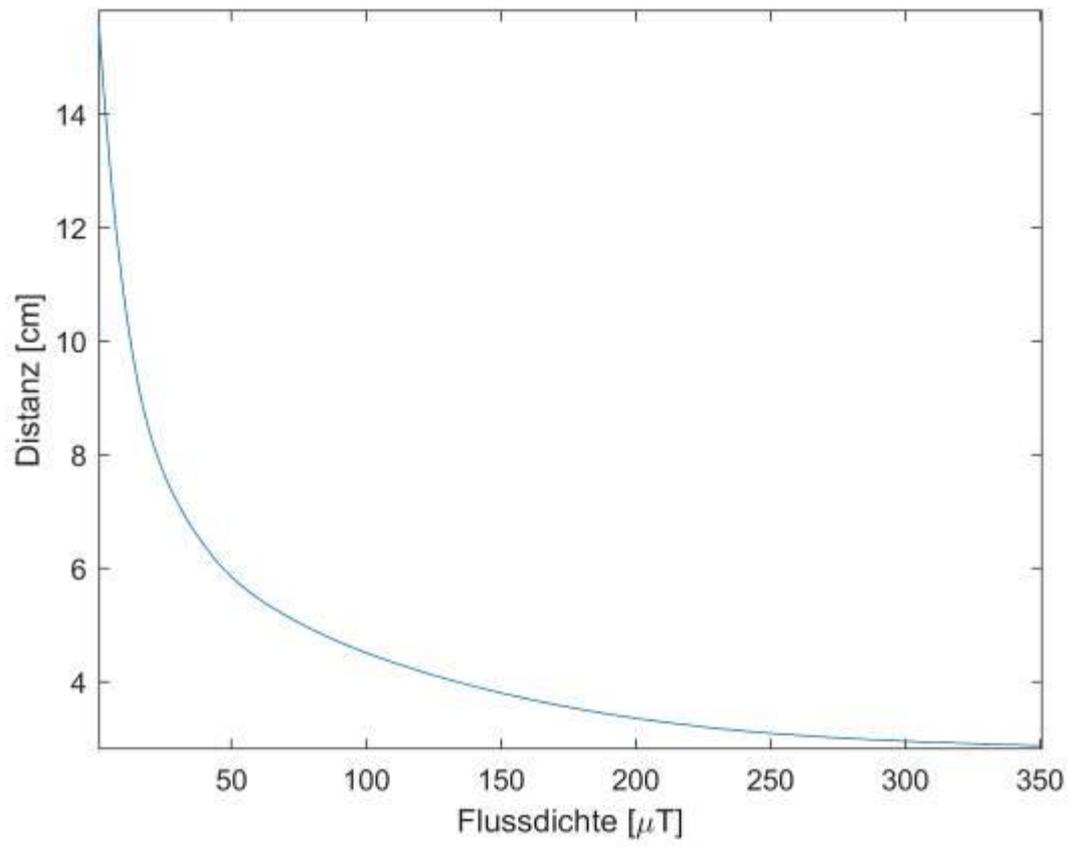


Abb. 2: EM-Positionierung und Flussdichtemessung.

P10

Coronal plane knee kinematics in total knee arthroplasty: A kinematic curve rather than a single mechanical tibiofemoral angle

P. Ismailidis (Basel/CH), K. Doma (Pilmico/AU), P. McEwen (Pilmico/AU)

Objectives

When planning and performing a total knee arthroplasty, surgeons orientate themselves on a single mechanical tibiofemoral angle (MTFA), measured in standing anteroposterior radiographs. However, the MTFA varies in different degrees of flexion and hence coronal knee alignment is best described through a graph showing a curve of the MTFA through the range of motion (fig 1). The aim of this study was to describe the kinematic curve morphology, as well as to investigate the associations between curve morphology and distal femoral and proximal tibial articular anatomy.

Methods

A lower limb bone model consisting of hemipelvis, femur and tibia was used (fig 2). Registration was completed with a computer navigation system. Tibial and femoral osteotomies were used to create 70 different mechanical lateral distal femoral angle (mLDFA), medial proximal tibial angle (MPTA) and femoral torsion combinations. For each combination, a MTFA curve was recorded and categorized into the morphotypes defined by Young et al. Continuous data was tested for normality with the D'Agostino and Pearson test. Statistical comparison of central tendencies was performed using the Kruskal-Wallis test, multiple comparisons using Dunn's multiple comparisons test.

Results

Five different curve morphotypes were identified, namely straight, drift, inverse drift, C-shape and inverse C-shape. The mLDFA and femoral torsional angle differed significantly across curve types ($p < 0.0001$). After adjustment for multiple comparisons there were significant differences in the mLDFA and in the femoral torsional angle between various pairs of curves. MPTA did not vary across curve types ($p = 0.0844$).

Conclusion

Coronal plane kinematic knee curves can be categorized according to their morphology. The curve morphology is determined by the distal femoral coronal and torsional anatomy. The coronal tibial anatomy influences the position of the curve relative to the zero line but not the curve morphology.

Abb. 1

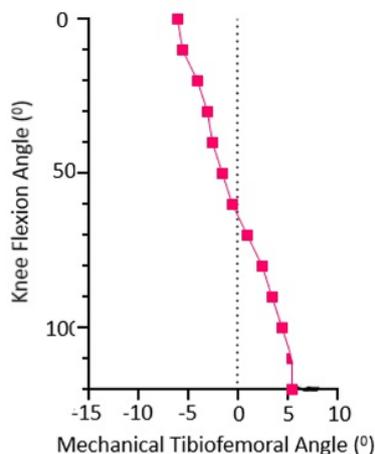


Fig 1 Graph showing a curve of the MTFA through the range of motion. Curves are plotted to illustrate coronal plane angles on the x-axis (- denotes a varus angle) and the flexion on the y-axis.

Abb. 2



Fig 2 The articulated lower limb surgical education bone model consisting of hemipelvis, femur and tibia. A medial opening wedge femoral osteotomy (red arrow) and tibial osteotomy (yellow arrow) with a step cut to prevent anteroposterior and rotational instability was performed. Note the femoral (green arrow) and tibial (blue arrow) computer navigation pins and trackers in place.

P11

Numerische Untersuchung der Einflüsse einer Hüftgelenkendoprothese auf die Gelenkbelastung

N. Eichner (Frankfurt a. M./DE), A. Wittek (Frankfurt a. M./DE), S. Hanusek (Frankfurt a. M./DE), J. Holder (Frankfurt a. M./DE), S. van Drongelen (Frankfurt a. M./DE), F. Stief (Frankfurt a. M./DE), U. Wuttke (Frankfurt a. M./DE)

Der klinische Einsatz der instrumentellen Ganganalyse kombiniert mit personalisierten Mehrkörpersimulationsmodellen (MKS-Modelle) hat großes Potential zur Verbesserung der Operationsplanung bei Hüftgelenkendoprothesen (HEP) ebenso wie der postoperativen Analyse und Beurteilung des Therapieerfolgs. Die Personalisierung der Modelle, die zur Berechnung der Gelenkkräfte und -momente sowie der Muskelkräfte verwendet werden, beschränkt sich häufig auf die Größen- und Gewichtsskalierung standardisierter Modelle. In dieser Pilotstudie soll anhand eines vereinfachten Beinmodells untersucht werden, wie sich Gewicht, Schwerpunktlage und Massenträgheitsmoment eines Oberschenkels durch die Implantation einer HEP verändern und wie sich dies auf die Gelenkkräfte und -momente auswirkt.

Hierfür wurde zunächst die Geometrie einer zementfreien HEP (Alloclassic®Zweymüller®SLO Schaft; BioloX®delta Kopf), mittels 3D-Scan erfasst und daraus in Inventor ein CAD-Modell erstellt, welches in ein CAD-Modell des Femurs implementiert wurde. Des Weiteren wurden in OpenSim 4.2 zwei vereinfachte MKS-Modelle – bestehend aus Ober- und Unterschenkel, Hüft- und Kniegelenk sowie exemplarisch für Hüftflexor und -extensor sowie Knieextensor stehende Muskeln – erstellt. In ein MKS-Modell wurde das Femur-HEP-Modell implementiert. Beide Modelle wurden im Hüftgelenk mit einem Rotationsfreiheitsgrad in der Sagittalebene gelagert und gleichförmig beschleunigt: Hüft- und Knieflexion aus dem Stand bis zu je 90° und Rückkehr in 0° Ausgangslage. Die Gelenkkräfte und -momente wurden mit dem Analyse-Tool (JointReaction) berechnet.

Aufgrund der HEP ergibt sich eine Massenerhöhung des Oberschenkels um 1,27% von 9,4 auf 9,5 kg, eine Schwerpunktverschiebung um 0,67 % proximal und eine Erhöhung des Massenträgheitsmoments um 1,16 %. Infolge der geänderten physikalischen Eigenschaften des Oberschenkels durch die HEP ergeben sich erhöhte Gelenkreaktionskräfte und ein erhöhtes Gelenkreaktionsmoment um die Rotationsachse.

P12

Contribution of the affected side to propulsion and body weight support during gait in unilateral cerebral palsy

K. Bracht-Schweizer (Basel/CH), J. Romkes (Basel/CH), E. Viehweger (Basel/CH), M. Widmer (Basel/CH), M. Sangeux (Basel/CH)

Introduction: Similar to adults post-stroke, patients with unilateral cerebral palsy (uniCP) show involvement mainly of one body side. In adults post stroke, there is a decreasing contribution of the affected side to propulsion proportional to the overall functional level [1]. Comparatively, little is known for patients with uniCP. Our aim was to explore the affected side's contribution to propulsion and body weight support (BWS) ratio during gait in uniCP, and to explore the relationship between these ratios and overall measures of gait function.

Methods: Kinematics [2] and ground reaction forces (GRF) of 187 uniCP patients (age 16 range 6-66 years; GMFCS I: 169, II: 18) walking barefoot at self-selected speed were investigated retrospectively. Propulsion was defined as the impulse of the positive anterior-posterior GRF. The contribution to propulsion, i.e. affected propulsive ratio, is the ratio between the affected side and the sum of both sides' propulsion [3]. A similar affected BWS ratio was constructed from the vertical GRF. The Gait Profile Score (GPS) [4] and the non-dimensional walking speed were calculated.

Results: Figure 1 shows that the affected side contributed significantly less to propulsion and BWS than the non-affected side. Table 1 shows that only GPS and support ratio correlated moderately.

Discussion: Although on average the affected side contributed less to propulsion and BWS during gait, this was not the case for every patient. As correlations of walking speed, GPS and the two ratios were low, there must be further factors that are interacting. In the future, we will investigate the contribution of individual muscles to propulsion and BWS using induced acceleration analysis to identify which muscles are most affected. Further research will investigate how treatments (e.g. orthoses) influence the contribution of the affected side.

References: [1] Awad, JNER 2020; [2] Leboeuf, G&P 2019; [3] Bowden, Stroke 2006; [4] Schwarz, G&P 2008.

Abb. 1

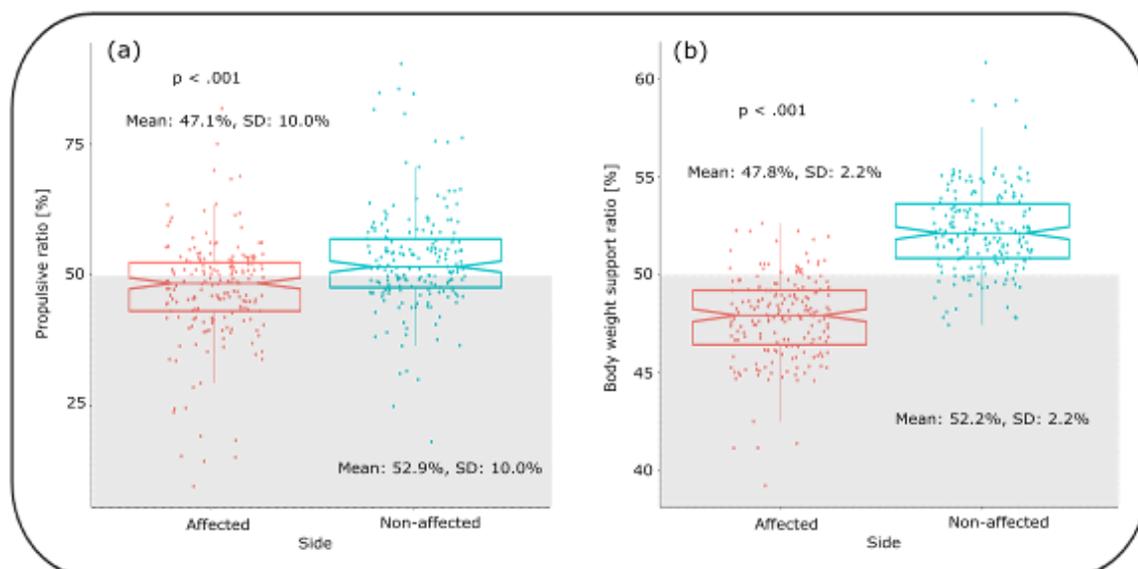


Figure 1: Differences between sides and statistical test of the affected side against 50% of (a) the propulsive ratio and (b) the body weight support ratio of 187 patients with unilateral cerebral palsy. Boxplots with mean and standard deviation are depicted for the affected side (red) and the non-affected side (blue) for self-selected walking. Both ratios are expressed in percentage with values <math>< 50\%</math> (grey area) indicating that the body side is contributing less to the propulsion/support than the other body side. Wilcoxon signed-rank test was used to test the deviation of the affected side from 50% of the ratios.

Tab. 1

Table 1: Pearson correlation between the Gait Profile Score (GPS), non-dimensional walking speed, propulsive ratio and body weight support ratio of 187 patients with unilateral cerebral palsy.

	GPS	Walking speed	Propulsive ratio
Walking speed	-0.13		
Propulsive ratio	-0.08	0.17	
Support ratio	-0.43	0.21	0.28

Postersession III • Frakturheilung und Knochen

P13

Bi-axiale Dynamisierung vs. Standardversorgung führt zu vergleichbaren interfragmentären Bewegungen bei instabilen pertrochantären Femurfrakturen

S. Sandriesser (Murnau/DE, Salzburg/AT), M. Hollensteiner (Murnau/DE, Salzburg/AT), P. Augat (Murnau/DE, Salzburg/AT)

Petrochantäre Femurfrakturen haben bei hoher Instabilität das Risiko einer Heilungsverzögerung. Die Standardversorgung mittels Femurnagel ermöglicht eine Dynamisierung des Konstrukts entlang der Schenkelhalsachse. Durch zusätzliche Dynamisierung entlang der Schaftachse kann die Frakturheilung potentiell verbessert werden. Ziel dieser Studie war der biomechanische Vergleich der Stabilität einer Standardversorgung einer instabilen pertrochantären Fraktur mit einer Versorgung, welche eine bi-axiale Dynamisierung ermöglicht.

In 14 humanen Femora wurde eine pertrochantäre Fraktur mittels Femurnagel (Hansson dynamic nail, Swemac) stabilisiert. Eine bi-axiale Dynamisierung wurde durch das Aufbohren der lateralen Kortikalis unterhalb der Schenkelhalsschraube erreicht (n=7) und wurde gegen die Standardversorgung (n=7) verglichen. Die Proben wurden unter einer Axiallast von 500 N in einer elektrodynamischen Prüfmaschine bei 2 Hz belastet. Nach jeweils 20.000 Zyklen wurde die Last um 100 N erhöht. Initialsteifigkeiten sowie interfragmentäre Bewegungen wurden mithilfe eines optischen Kameramesssystems aufgenommen. Die statistische Analyse erfolgte mittels t-Tests.

Eine axiale Kompression entlang der Schaftachse wurde bei 6 von 7 Proben bereits vor Beginn der zyklischen Belastung erzielt und zeigte eine vergleichbare Initialsteifigkeit (Bi-axial 684 ± 123 N/mm, Standard 618 ± 164 N/mm, $p=0.44$). Bei der von allen Proben erreichten Last von 1100 N wurde sowohl für die axiale Bewegung ($2,1 \pm 1,2$ mm vs. $3,0 \pm 1,7$ mm, $p=0.30$) als auch für die varus-Abkippung ($2,1 \pm 0,9^\circ$ vs. $1,5 \pm 0,6^\circ$, $p=0.18$) kein Unterschied zwischen bi-axialer Dynamisierung und Standardversorgung festgestellt.

Aus biomechanischer Sicht erreicht bei dieser pertrochantären Fraktur eine bi-axiale Dynamisierung des Nagels die gleiche mechanische Stabilität wie die Standardversorgung. Ob eine bi-axiale Dynamisierung auch zu einer relevanten Verbesserung des Heilungsverlaufs führt, muss in klinischen Studien untersucht werden.

P14

Ermittlung der mechanischen Eigenschaften humaner Spongiosa des Femurkopfes bei Vorliegen einer atraumatischen Hüftkopfnekrose bzw. Coxarthrose – Eine vergleichende Untersuchung

B. Fischer (Leipzig/DE), R. Reise (Leipzig/DE), S. Schleifenbaum (Leipzig/DE), A. Roth (Leipzig/DE)

Fragestellung:

Als Hüftkopfnekrose (HKN) wird die pathologische Veränderung des Femurkopfes infolge eines lokalen Absterbens von Knochengewebe bezeichnet, während die Coxarthrose (CA) eine degenerative Erkrankung ist. Inwiefern diese beiden pathologischen Veränderungen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des subchondralen Knochens haben, ist an frisch entnommenen Hüftköpfen untersucht worden.

Material und Methoden:

Für die Studie wurden 45 Femurköpfe (22 HKN, 23 CA) untersucht. Sämtliche Femurköpfe wurden direkt nach Resektion im Rahmen von HTEP-Operationen am Uniklinikum Leipzig in das Forschungslabor überführt. In frischem Zustand wurde mittels eines Zapfenschneiders jeweils eine zylindrische Knochenprobe (\varnothing 8,1 mm) je Hüftkopf in trabekulärer Haupttrichterung gewonnen und auf eine Länge von 16 mm zugeschnitten. Anschließend wurde an Ober- und Unterseite der Probe jeweils ein rundes Messingplättchen angeklebt und die Proben mittels eines Druckversuchs (DIN 13314) uniaxial bis zum Versagen getestet.

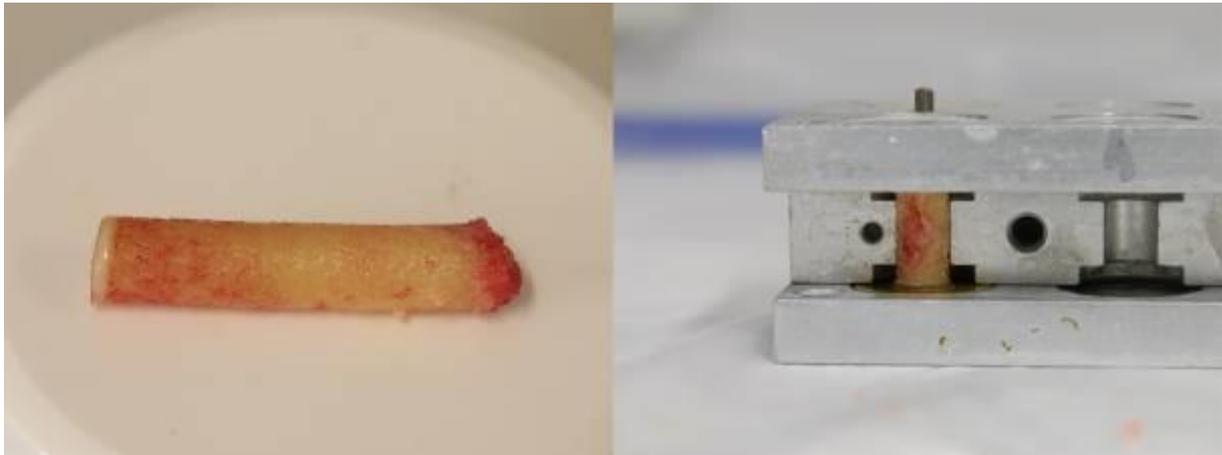


Abb. 1: Links: Gewonnene Bohrprobe; rechts: zugeschnittene Probe während des Anklebeprozesses der Messingplättchen

Ergebnis:

Es zeigte sich für HKN-Proben eine ähnliche mittl. Druckfestigkeit sowie ähnliche Standardabweichung ($12,25 \pm 5,68$ MPa) wie bei CA-Proben ($12,75 \pm 6,01$ MPa). Für den mittl. Elastizitätsmodul (E-Modul) wurde bei den HKN-Proben $1282,56 \pm 1293,3$ MPa ermittelt. Bei den CA-Proben lag der mittl. E-Modul bei $694,53 \pm 258,91$ MPa.

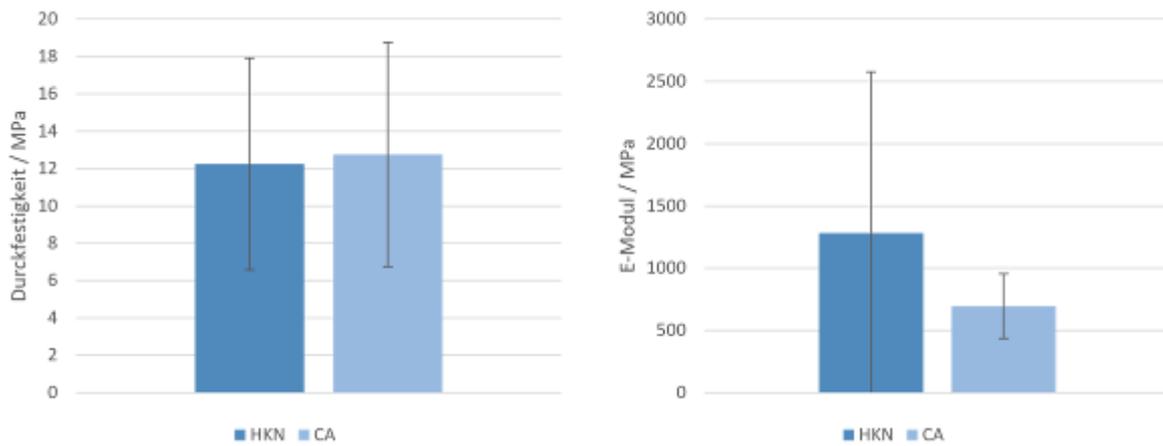


Abb. 2: Druckfestigkeiten und E-Moduln der untersuchten Proben

Schlussfolgerung:

Für die beiden untersuchten unterschiedlichen Probenkategorien (HKN und CA) wurden ähnliche Werte für die Druckfestigkeit und die Standardabweichung ermittelt. Die subjektiv deutlich höhere Härte der HKN-Proben bestätigte sich in einem deutlich höheren mittl. E-Modul, verglichen mit den CA-Proben. Es wurde eine sehr heterogene Erscheinung der Spongiosa bei HKN-Proben beobachtet, was sich im mittl. E-Modul widerspiegelt.

P15

Entwicklung und Validierung einer Prüfmaschine zur Erfassung trabekulärer Werkstoffeigenschaften spongiösen Knochengewebes

T. Harz (Gießen/DE), C. A. Fonseca Ulloa (Gießen/DE), C. Fölsch (Gießen/DE), M. Rickert (Gießen/DE), A. Jahnke (Gießen/DE)

Hintergrund:

Die Erhebung der *Bone Mineral Density*, der Knochenmaterialdichte, welche im Kontext der endoprothetischen Versorgung u.a. der Hüfte verwendet wird, lässt keine präzise Aussage über die mechanischen Eigenschaften des vorhandenen Knochens zu. Hierfür müssen die Werkstoffeigenschaften insbesondere des trabekulären Knochens mitberücksichtigt werden. Zur Erfassung der Materialeigenschaften von Einzeltrabekeln soll in diesem Projekt eine Prüfmaschine und Messmethode entwickelt und validiert werden.

Methodik:

Die Validierungsmessungen erfolgen mittels der Belastung eines 0,2mm dicken Messingdrahtes (MS58 mit $E = 96\text{GPa}$). Es werden $n = 200$ Messproben nach einem standardisierten Verfahren auf Objektträger aufgebracht und mit der entwickelten Prüfmaschine belastet. Die Messungen erfolgen über 8 Messtage mit je 25 Messungen. Weiterhin erfolgen Vergleichsmessungen mittels eines Zugversuchs mit $n = 20$ Messproben an einem Messtag mit einem etablierten System.

Ergebnisse:

Für die $n = 200$ Messproben wird im Mittel ein E-Modul von $90973,4 \pm 3522,8\text{MPa}$ erfasst. Die Vergleichsmessungen des Zugversuches liefern $E = 92873,2 \pm 6498,6\text{MPa}$. Eine einfaktorielle Varianzanalyse liefert keine Unterschiede zwischen den Messtagen ($F(7,192) = 0,44$, $p = 0,8748$).

Schlussfolgerungen:

Der ermittelte E-Modul liegt in einem Abstand von 5,53% unter dem Literaturwert der Messprobe und einem Abstand von 2,05% zu den Ergebnissen der Vergleichsmessung. Die geringen Abweichungen zu Literaturangaben und zur Vergleichsmessung lassen auf ein reliables Verfahren schließen. Die Abweichungen der Messtage untereinander liegen mit 0,52% in einem sehr geringen Bereich. Die Validität des Systems scheint somit gegeben zu sein. Die durchgeführte Varianzanalyse und das Bootstrapping-Verfahren stützen diese Annahme. Die Messungen an humanem Knochenmaterial bedürfen jedoch weiterer Studien zur genauen Erfassung ihrer Flächenträgheitsmomente, welche für die Berechnung der E-Moduln essenziell ist.

P16

Pressure distribution underneath the foot during walking in patients with a fracture of the tibia

E. Warmerdam (Homburg/DE), P. Steinheimer (Homburg/DE), M. Orth (Homburg/DE), T. Pohlemann (Homburg/DE), B. Ganse (Homburg/DE)

Introduction

The majority of tibial fractures require surgical fixation. Non-union is a frequent complication during the healing process of long bone fractures and occurs in about 14% of tibial fractures¹. It would be desirable to be able to predict non-union at an early stage based on gait. To study how gait parameters develop in healthy healing, we assessed the pressure distribution underneath the foot throughout the healing process.

Methods

Three patients with a tibial fracture were measured multiple times with insoles (Moticon, Munich, Germany) during the healing process after surgery (data from more visits and more patients will be available at the time of the congress). Thirteen healthy controls (HC) were measured once. The insoles contain 16 pressure sensors, which were used to calculate the pressure distribution between the feet, the forefoot and hindfoot, the lateral and medial side of the foot.

Results

In the first few weeks after surgery, the load on the injured leg was lower compared to the non-injured leg. The pressure on the forefoot was higher compared to the hindfoot and the pressure on the lateral side of the (fore)foot was higher compared to the medial side (Fig 1). These findings could be influenced by restrictions in weight bearing and by perceived pain. About three months after the surgery, when fracture stiffness has increased again², it seems that the loading pattern of patients with successful healing has returned to similar values as HC. The pressure distribution seems to have potential as a tool to monitor the healing process.

References

1. Zura, R. *et al.* Epidemiology of fracture nonunion in 18 human bones. *JAMA Surg.* **151**, (2016).
2. Claes, L. *et al.* Fracture healing under healthy and inflammatory conditions. *Nat. Rev. Rheumatol.* **8**, 133–143 (2012).

Abb. 1

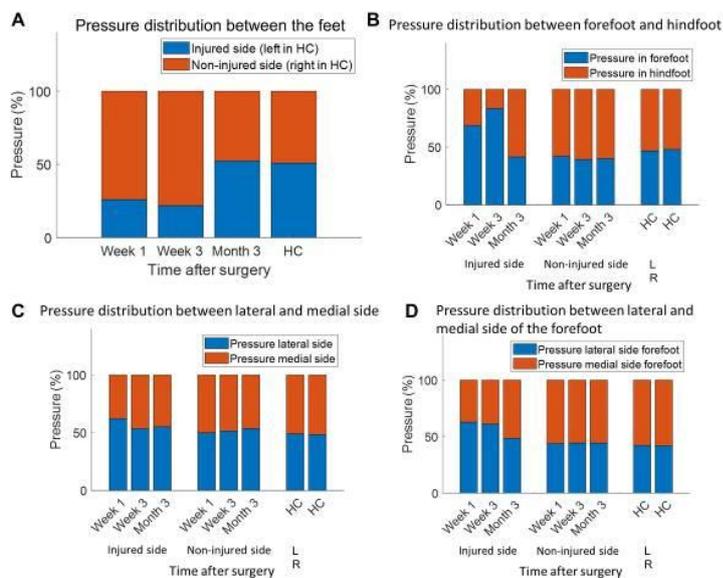


Figure 1. Pressure distribution between the injured and non-injured side (A) and the pressure distribution in different parts of the foot (B-D). HC = healthy controls; L = left; R = right.

P17

Biomechanical evaluation of cephalomedullary nails for the treatment of intertrochanteric femur fractures.

A systematic review

J. Mayor (Hannover/DE), E. Liodakis (Hannover/DE), S. Sehmisch (Hannover/DE)

Introduction

Hip fractures are a significant health issue. The exponential increase in these types of fractures and the different treatment options are accompanied by an increasing number of biomechanical fractures. A range of studies compare cephalomedullary devices, many of which have other parameters and criteria. The current review aims to identify i) parameters and ii) methods used in previous biomechanical studies related to intertrochanteric fractures.

Methods

Following the PRISMA-P guidelines, a systematic search was performed on 01.02.2022 via Pubmed/MEDLINE and Web of Science alongside citation searching. Scientific papers published between 2000 and 2022 were included when they reported data on implant properties related to the biomechanical stability for intertrochanteric fractures. Data extraction was undertaken using a synthesis approach, gathering data on criteria of implants, sample size, fracture type, bone material, and study results.

Results

The following are preliminary results. After removing duplicates, the initial search yielded a total of 1,133 research papers. Thirty-eight papers were left for final analysis. The methods and parameters used in the included studies were heterogeneous. The characteristics of several included studies are recorded in the appended table.

Conclusion

This review provides a broad overview of parameters and measurement methods used in biomechanical studies related to intertrochanteric fractures. It thus facilitates the development of a comprehensive approach in future research.

Keywords

- Cephalomedullary nail
- Intertrochanteric/Pertrochanteric
- Biomechanical
- Systematic Review

Tab. 1

First author	Journal	Year	Implants used	Sample size	Fracture Type	Bone Material	Marked Results
Marmor	Injury	2015	<ul style="list-style-type: none"> - Short nail - ES nail - Long nail (Advanced Orthopaedic Solutions)	38	AO 31-A1 AO 31-A2	Seawbone	If a periprosthetic fracture is to occur, there is an increased probability of it happening around the site of the interlocking screw, regardless of nail design.
M. Gajewska	Clinical Biomechanics	2020	<ul style="list-style-type: none"> - Gamma dynamic - Gamma static - Gamma long - DHS 2 hole - DHS 4 hole (Stryker)	37	AO 31-A1	Seawbone	Gamma nail is unstable in a large medullary canal but offers better rotational stability of the proximal fragment.
Law Gill	Bone Joint	2019	<ul style="list-style-type: none"> - PFNA (Depuy-Synthes)	38	AO 31-A2/04	Seawbone	Redirectional cyclic loading on the femoral head plays a major role in the medial migration phenomenon with the cephalomedullary nail.
Keak Dee-Nyung	BioMed Research International	2018	<ul style="list-style-type: none"> - 12 Gamma 3 nails (Hip screw type) (Stryker/Group 1) - 12 Gamma 3 U-blade nails (Stryker) - 12 Proximal Femoral Nail Antirotation 8 nails (PFNA-8), Helical Blade type (Depuy-Synthes) 	36	AO 31-A2.2	Seawbone	Screw-blade hybrid type and blade type would be more effective in minimizing rotation instability of the proximal fragment in unstable bicolumnal IT fractures. Varus collapse of the proximal fragment and cranial and distal migration within the femoral head were greater with blade type than screw-blade hybrid type.
Lee Wei	Orthopaedic Surgery	2020	<ul style="list-style-type: none"> - Insect nail (Smith & Nephew) - Gamma3 nail (Stryker) 	24	AO 31-A1.1 AO 31-A2.2	Seawbone	ITN proved a better biomechanical stability for the treatment of unstable intertrochanteric fractures.

Table 1. Parameters and methods used in included studies.

P18

Contour to surface matching for bone location, an *in silico* study

J. Leboucher (Heidelberg/DE), F. Salami (Heidelberg/DE), S. I. Wolf (Heidelberg/DE)

Question

Can a bony contour stemming from an ultrasound (US) image be used to locate the complete bone under selected conditions?

Methods

The surface of the anterior aspect of a proximal femur was used to generate the bone contour using a ray casting algorithm for contour simulation as would be observed on an US image. The femur surface was also ray-casted so that US simulated contour could be matched to the femur pointcloud using an ICP algorithm. The US contour resolution, space between rays, was set to 0.125 mm while the bone's was 1, 0.5, and 0.25 mm to evaluate the influence of the destination pointcloud resolution. The initial position of the contour before running the ICP was set randomly as 1-7 mm / 1-7° away from its true position and the simulation was ran a 100 times.

Results

An illustration of the result of simulated scanning, ray casting on bone and contour matching on surface can be seen on Figure 1

The results for all experimental conditions are presented in Table 1. Even with the closest initial locations, average results return a location error of about 10° and 5 mm. Average location errors increase with initial location error magnitude but error seems unrelated to surface resolution.

Conclusions

This method did not yield satisfying results for bone location estimation. Nevertheless all experimental conditions allow for finding accurate locations, under or around 3°, except for the 5-7 mm and 5-7° conditions for the 0.25 mm resolution, and below 1 mm, at least on a few instances. More effort will be put in the future to refine the method using other surface matching method, other criteria than coarse point to point distances (e.g. curvature) and finding solutions to avoid local minima to obtain a satisfying location for the bone contour.

Abb. 1

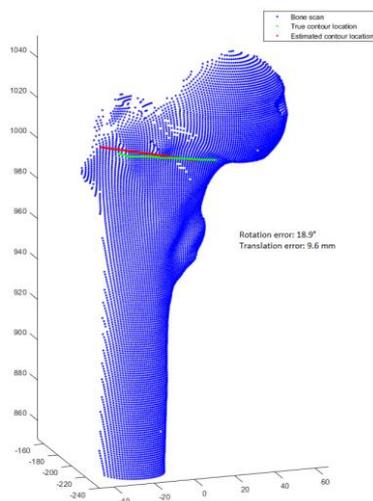


Fig. 1 - Bony surface (blue), simulated US image contour (green) and contour to surface matching (green)

Tab. 1: Mean, SD and extrema of the rotation errors observed after contour to surface matching

		Rotation error (°)			Translation error (mm)		
		1 mm	0,5 mm	0,25 mm	1 mm	0,5 mm	0,25 mm
Surface resolution		Mean±SD [min-max]	Mean±SD [min-max]	Mean±SD [min-max]	Mean±SD [min-max]	Mean±SD [min-max]	Mean±SD [min-max]
Initial location	1mm/3°	11.2±9.8 [0.0-42.4]	10.1±11.5 [0.7-88.6]	9.9±8.6 [0.9-33.2]	4.8±4.7 [0.2-15.6]	4.8±4.7 [0.3-14.9]	4.9±4.7 [0.3-14.9]
	3mm/3°	38.5±28.2 [2.2-99.6]	38.9±27.1 [2.2-102.5]	45.6±28.6 [2.5-99.6]	16.3±12.2 [0.5-41.0]	17.1±12.9 [0.3-39.6]	19.9±13.2 [0.3-41.6]
	5mm/3°	52.6±32.0 [2.3-179.3]	47.8±26.7 [2.4-129.0]	54.4±26.0 [5.2-104.1]	23.3±15.2 [0.7-45.2]	22.4±15.3 [0.7-45.3]	26.0±16.0 [0.5-49.6]
	7mm/7°	62.9±34.1 [3.1-170.2]	57.4±31.1 [2.9-170.2]	66.3±25.7 [8.5-136.3]	28.4±15.8 [1.0-46.2]	29.3±16.0 [0.7-49.7]	30.8±17.1 [0.7-55.8]

Postersession IV • Klinische Studien

P19

Do unloader braces reduce knee joint loading? The role of joint contact forces and the knee adduction moment

D. Bachmann (Köln/DE), I. Komnik (Köln/DE), T. Preiser (Köln/DE), J. Rogoschin (Köln/DE), W. Potthast (Köln/DE)

Surrogate measures of the medial contact forces (MCF) like the knee adduction moment (KAM) are often utilized to evaluate the effectiveness of unloader braces¹. Yet, the ability to predict the compartmental forces solely by the KAM is arguable². This study aimed to evaluate the effectiveness of a novel unloader brace in healthy as well as in knee osteoarthritic patients (OA) in level walking. Additionally, a stepwise linear regression (SLR) was conducted to deepen the knowledge of surrogate measurements for the MCF. The Statistical Parametric Mapping analysis revealed that the parameters in the OA and control group did not demonstrate a significant difference within or between the groups. The SLR showed a significant correlation between MCF and knee adduction angular impulse (KAI) and knee flexion moment (KFM) with an adjusted R^2 value of 0.735 but excluded the KAM (Fig. 1b). Interestingly, the OA braced condition exhibited a high standard deviation throughout the stance phase (Fig. 1a) which might be an indicator for the individual response of patients depending on Kellgren-Lawrence grade and symptomatic and asymptomatic OA. The SLR revealed that the KAI and the KFM are the only parameters to explain the variance of the MCF, contradicting the results of Kutzner et al. (2013). Especially the integration of KAI to the regression model is new and gives valuable insight into surrogate measurements for the MCF since it is a gait speed independent measurement.

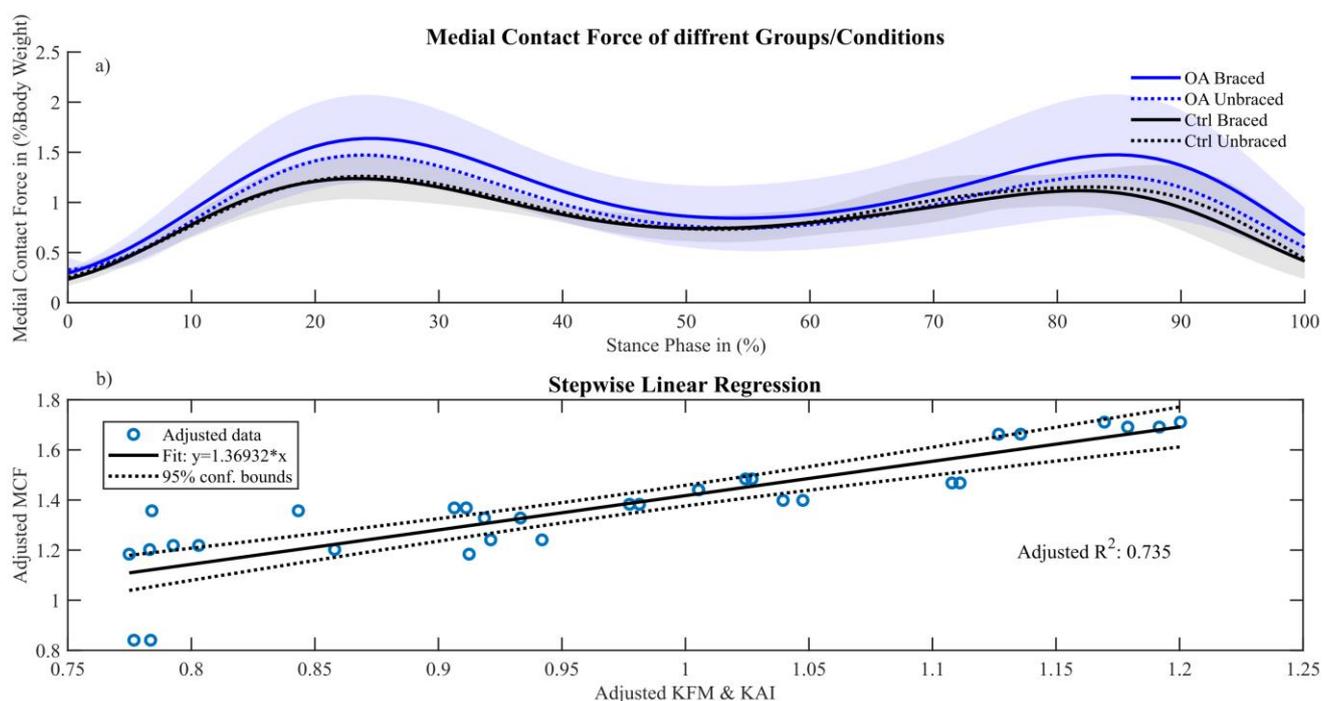


Figure 1 a) MCF throughout the stance phase of the two groups/conditions b) Stepwise Linear regression with adjusted MCF, KFM & KAI

¹ Kutzner, I et al. Knee adduction moment and medial contact force-facts about their correlation during gait. *PLoS ONE* (2013)

² Manal, J. M. et al. A more informed evaluation of medial compartment loading: The combined use of the knee adduction and flexor moments. *Osteoarthritis and Cartilage* (2015)

P20

Einfluss der Messdauer auf posturographische Assessments bei Kindern und Jugendlichen mit Cerebralparese (CP) und ihr Zusammenhang mit der dynamischen Balance beim Gehen

M. Hoesl (Vogtareuth/DE), R. Tassenbacher (Rosenheim/DE), M. Bonfert (München/DE), S. Schröder (München/DE), A. Thamm (Vogtareuth/DE), S. Nader (Vogtareuth/DE), S. Berweck (Vogtareuth/DE, München/DE)

Fragestellung

Kinder mit CP sind u.a. wegen Sicherheitsbedenken weniger mobil. Posturographie wurde bereits mit versch. Protokollen und Messdauern von 10-60 Sek. [u.a. 1,2] als Indikator der Balance verwendet. Ziel war es, den Einfluss der Messdauer auf die Posturographie, sowie den Zusammenhang zwischen Balance beim Stehen und Gehen, zu erfassen.

Methoden

Bei 21 Kindern mit CP (10±3 J.) wurde die Posturographie (Zebris) und die dyn. Stabilität via 3DGA (Vicon Nexus) erhoben. Die Standmessung erfolgte mit offenen (EO) und geschlossenen Augen (EC). Outcomes waren CoP pathlength, ellipse area, radial displacement (RD), Mean Frequency (MF), max. displacement in a-p, m-l. Beim Gehen wurden die ant. Margins of Stability (MoS) (IC, Midswing) und laterale MoS (Stance) berechnet [3]. Unterschiede in der Posturographie wurden mit ANOVA, EO vs. EC und 7 Zeitfenstern (5, 10, 15, 20, 25, 30, letzte 25 Sek.) evaluiert. Zum Normabgleich [6] der pathlength wurden z-Scores bei 30 Sek. bestimmt. Ferner wurden damit Korrelationen zu Gangparametern berechnet.

Ergebnisse

Die Posturographie zeigte einen Haupteffekt der Zeit ($P < 0.001$). Erst ab 25 Sek. wurden Unterschiede in der pathlength bei EO und EC detektiert (Abb 1.), wobei sich in EC die letzten von den ersten 25 Sek. unterschieden ($P = 0.004$). Area, Rd, MF nahmen ab 20 Sek. stabile Werte an (Abb. 1). Die \emptyset z-Scores lagen bei ~ 8 Standardabweichungen. Nur für EO korrelierte diese mit der Geschwindigkeit ($r = -0.47$, $P = 0.016$), sowie der ant. MoS ($r = -0.42$, $P = 0.029$)

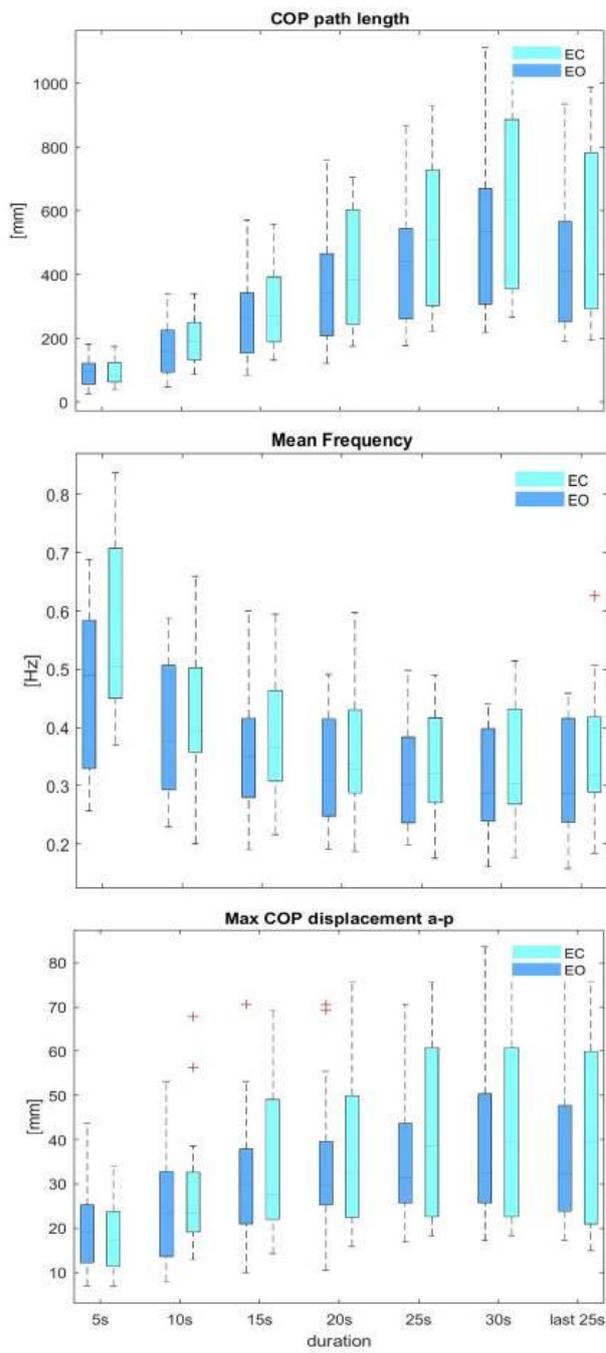
Schlussfolgerungen

Die CP limitiert die statische Balance, die Zusammenhänge zum Gehen scheinen aber eher mild, was auf unterschiedliche Konstrukte hindeutet. Die Posturographie-Messdauer sollte >20-25 Sek. betragen [~5]. Mehrere Wdh. wären ebenfalls abzuwägen.

Referenzen

[1] Bingham 2015. Games for health, 4, 145–148. [2] Donker 2008. Exp brain res, 184, 363–70. [3] Tracy 2019. G&P, 72, 182–87. [4] Ludwig 2020. Heliyon, 6(7). [5] Ferdjallah 2002 Clin Bi, 17, 203–10.

Abb. 1



P21

Muscle strength deficit in patients with rotator cuff tears versus age-matched asymptomatic subjects and its association with the Constant Score

F. Warmuth (Basel/CH), E. Croci (Basel/CH), J. Genter (Basel/CH, Winterthur/CH), F. Eckers (Basel/CH), C. Nüesch (Basel/CH), D. Baumgartner (Winterthur/CH), A. M. Müller (Basel/CH), A. Mündermann (Basel/CH)

Introduction

Rotator cuff tears (RCT) are associated with pain and functional impairments in the shoulder. The aim of the study was to investigate muscle strength and functionality and their association in symptomatic and asymptomatic shoulders.

Methods

Twenty-four patients with unilateral RCT (14 men, 10 women; mean (standard deviation), age: 64.6 (10.5) years; body mass index (BMI): 26.6 (5.1) kg/m²) and 17 asymptomatic subjects (8 men, 9 women; age: 57.9 (8.6) years; BMI: 25.5 (5.4) kg/m²) participated in this study. A Biodex dynamometer was used to measure isometric muscle strength in 10° and 30° abduction (ABD) in the scapular plane and in internal and external rotation (IR/ER) in neutral rotation at 15° scaption with 90° flexed elbow (three repetitions each). The maximum torque (Nm) was determined and normalized to body mass. The Constant Score (CS) served as an additional assessment for shoulder disorders. Paired and independent t-tests were calculated to test for side-to-side and group differences and the overall Pearson's correlation with the CS was assessed.

Results

Tab.1 [WF1] shows the descriptive results. For all exercises, muscle strength was lower in the symptomatic than the asymptomatic shoulder in patients (Tab.2). Similarly, the symptomatic shoulder was weaker than both shoulders of the control group, apart from IR. The CS of the patients' symptomatic shoulder was lower than the scores of the asymptomatic shoulders. CS correlated moderately with ABD 10°/30° ($r=0.526$ and $r=0.488$) and ER ($r=0.501$, all $p<0.001$) and weakly with IR ($r=0.337$, $p=0.002$).

Discussion

A strength deficit in ABD and ER was present in symptomatic shoulders and associated with lower CS. The smaller differences in IR in our patients with a tear of the supraspinatus tendon are in agreement with the function of the supraspinatus primarily in ABD and ER and limited function during IR.

Tab. 1

Table 1. Mean and standard deviations of isometric strength and Constant Score

Variable	Isometric Strength/Body Mass (Nm/kg)				Constant Score
	Abduction 10°	Abduction 30°	External Rotation	Internal Rotation	
Asym D	0.38 (0.16)	0.33 (0.15)	0.21 (0.11)	0.39 (0.13)	85.2 (4.0)
Asym ND	0.37 (0.16)	0.31 (0.15)	0.21 (0.11)	0.38 (0.12)	83.0 (6.3)
Pat AS	0.32 (0.14)	0.28 (0.12)	0.17 (0.07)	0.37 (0.13)	83.2 (5.8)
Pat S	0.25 (0.12)	0.21 (0.11)	0.12 (0.07)	0.34 (0.12)	74.1 (10.4)

Asym = asymptomatic subjects; Pat = patients; D = dominant arm; ND = non-dominant arm; S = symptomatic shoulder; AS = asymptomatic shoulder, SD = standard deviation.

Tab. 2

Table 2. P-values of the respective group comparisons

Variable	Abduction 10°	Abduction 30°	External Rotation	Internal Rotation	Constant Score
Pat S vs AS	0.006*	0.001*	0.005*	0.006*	< 0.001*
Asym ND vs. D	0.540	0.381	0.932	0.660	0.104
Pat S vs Asym ND	0.010*	0.025*	0.005*	0.266	0.002*
Pat S vs Asym D	0.006*	0.009*	0.006*	0.214	< 0.001*
Pat AS vs Asym ND	0.276	0.525	0.211	0.776	0.939
Pat AS vs Asym D	0.208	0.304	0.230	0.659	0.189

Pat = patients; Asym = asymptomatic subjects; S = symptomatic shoulder; AS = asymptomatic shoulder; ND = non-dominant arm; D = dominant arm; *P < 0.05.

P22

Intersegmentale Koordination bei Drehbewegungen bei Patienten mit Morbus Parkinson

E. Bianchini (Kiel/DE, Rome/IT), C. Hansen (Kiel/DE), R. Romijnders (Kiel/DE), E. Warmerdam (Homburg/DE), F. E. Pontieri (Rome/IT, Rome/IT), W. Maetzler (Kiel/DE)

Zielsetzung

Untersuchung der intersegmentalen Koordination beim Drehen bei Patienten mit Morbus Parkinson (PwPD) bei Einzel- und Doppelaufgaben.

Hintergrund

Erfolgreiches Drehen hängt von einer korrekten intersegmentalen Koordination ab. Bei Morbus Parkinson ist diese intersegmentale Koordination oft gestört, und die Körpersegmente drehen sich en bloc [1]. Da die Gang- und Gleichgewichtsparameter bei Morbus Parkinson durch die Doppelaufgaben beeinträchtigt sind [2], wurden in dieser Studie die intersegmentale Koordination und die Kinematik beim Drehen untersucht.

Methoden

22 PwPD und 22 Kontrollpersonen führten drei Gehaufgaben mit 180°-Drehungen durch während sie mit Inertialmessgeräten (IMUs) an Kopf und Sternum ausgestattet waren.

Ergebnisse

Beim Gehen mit Doppelaufgabe veränderten sich beide Gruppen und die Drehungen wurden langsamer durchgeführt. Bei PwPD wurden die Drehungen mit dem Sternum initiiert und der Kopf folgte, während die klassische Reihenfolge von Kopf und dann Sternum bei den Kontrollpersonen beibehalten wurde.

Schlussfolgerungen

PwPD drehen sich beim Gehen ohne Doppelaufgaben eher en bloc als die Kontrollgruppe. Beide Gruppen verändern allerdings beim Gehen mit Doppelaufgabe ihre intersegmentale Körperkoordination. Diese Ergebnisse könnten zumindest teilweise die erhöhten Gleichgewichtsdefizite und das Sturzrisiko beim Drehen bei PwPD erklären.

- [1] Mirelman A, Bonato P, Camicioli R, et al. Gait impairments in Parkinson's disease. *Lancet Neurol.* 2019;18(7):697-708.
- [2] Raffegau TE, Krehbiel LM, Kang N, et al. A meta-analysis: Parkinson's disease and dual-task walking. *Parkinsonism Relat Disord.* 2019;62:28-35.

P23

Effects of calf lengthening using the Baker surgery technique on ankle kinematics and kinetic

C. Bittner (St. Gallen/CH), F. Dobler (St. Gallen/CH), H. Lengnick (St. Gallen/CH), N. Alexander (St. Gallen/CH)

A reduced dorsiflexion of the ankle often causes a forefoot contact leading to gait changes or segmental overloading, which can have pathological effects on the ankle, knee, hip, pelvis or spine.¹ Therefore in children with a reduced calf lengthening (CL) is a common way to correct the foot if conservative therapy fails.² The aim of this study was to assess the effect of CL by the technique of Baker on ankle kinematics and kinetics over the whole gait cycle.

Twenty-seven children (10.9 ± 3.5 yrs, 20 neurological, 7 orthopedic), who underwent calf lengthening using the Baker technique on one or both sides (32 legs) were included in this study. They underwent 3D gait analysis to measure gait variables pre (5.8 ± 6.6 month) and post (17.5 ± 12.1 month) CL. The primary outcome measures were walking speed, sagittal ankle angle and moment as well as ankle power. Changes in walking speed were assessed with a paired t-test ($\alpha=0.05$). Statistical parametric mapping paired t-tests were used to compare kinematics and kinetics over the whole gait cycle.

The postoperative walking speed did not differ from preoperative walking speed (pre: 1.15 ± 0.16 m/s, post: 1.10 ± 0.22 m/s, $p=0.125$). Statistically significant differences in ankle kinematics and kinetics could be observed in different gait phases (Fig. 1).

In line with Hemo et al.³ CL is associated with an increased ankle dorsiflexion at initial contact and in swing phase as well as improved ankle moment in loading response. Ankle power was significantly decreased in loading response and in mid stance. Overall, the surgery has many positive effects and results in improvements of ankle kinematics and kinetics.

¹Volpon et al. Rev Col Bras Cir 2018; 46:1-11.

²Borton et al. J Bone Joint Surg 2001; 89:364-70.

³Hemo et al. J Pediatr Orthop 2006; 26(3):336-340.

Abb. 1

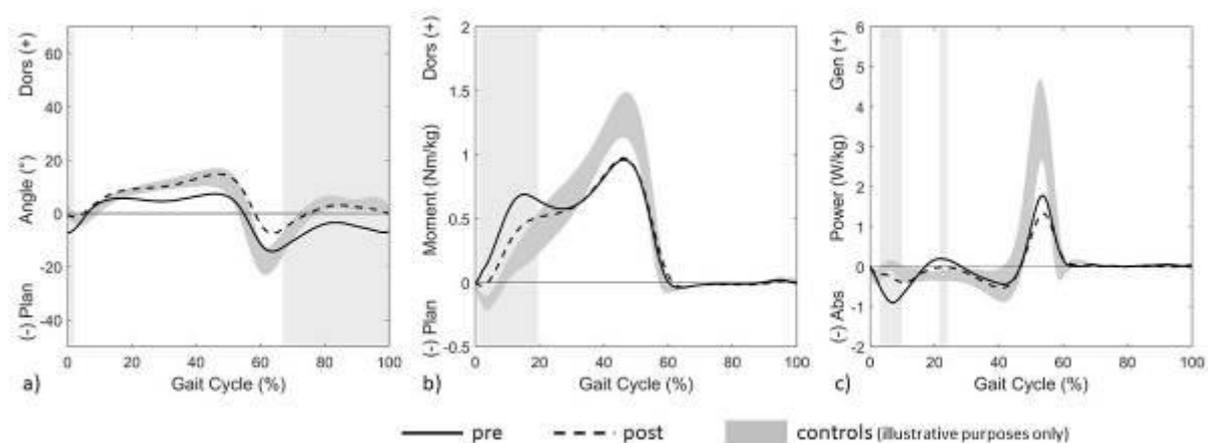


Fig. 1: Ankle angle (a), moment (b) and power (c) pre and post surgery. Light gray areas indicate significant differences ($p < 0.05$).

P24

Comparison of hip joint muscle forces before and after total hip replacement

A. Wittek (Frankfurt a. M./DE), J. Holder (Frankfurt a. M./DE), F. Stief (Frankfurt a. M./DE), U. Wuttke (Frankfurt a. M./DE), S. van Drongelen (Frankfurt a. M./DE)

Introduction: Analysis of gait by multibody simulations based on instrumented gait analysis holds great potential for improving the planning of total hip replacement (THR) and assessment of treatment success. Still, clinical application remains limited by the dependency of the results on model assumptions. In this pilot study we compared the estimated activation patterns of hip muscles in one patient before and after THR.

Methods: Based on pre- and postoperative 3D gait analyses, full body musculoskeletal models were generated in OpenSim 3.3 [1,2]. The pre- and postoperative model was scaled separately using the marker positions of the static standing trial and the body mass. Muscle forces were estimated using a static optimization approach [3].

Results: Preoperatively, muscle activation and forces were lower in the affected leg. After THR, muscle activity of both legs increased, which matches well with the increase in walking speed from 1.1 to 1.35 m/s. The muscle activity of both legs converged, postoperatively.

Discussion: Muscle activation times matched well with EMG data found in literature [4]. Only for the hip flexors, in addition to the activation from pre-swing to mid swing, in both legs an activation peak during mid stance was observed pre- and postoperatively. This may be caused by missing (iliofemoral) ligament forces which have not been implemented in this model and must be compensated. Extensors and adductors only showed slightly increased activation levels compared to literature data. Flexors and abductors of both legs showed peak activation levels of 80 % and of 100 % before and after surgery, respectively. These non-physiological values indicate that the model might assume too small maximum forces for these muscles.

[1] Delp et al. (1990), IEEE Trans Biomed Eng 37

[2] Demers et al. (2014), J Orthop Res 32

[3] v. Drongelen et al. (2020), Front Bioeng Biotechnol 8

[4] Perry & Burnfield (2010), Gait Analysis

P25

Postural stability during single leg standing is decreased in children with CMT1a

F. Dobler (St. Gallen/CH), K. Böddeker (St. Gallen/CH), P. J. Broser (St. Gallen/CH), N. Alexander (St. Gallen/CH)

Charcot-Marie-Tooth disease type 1a (CMT1a) is characterised by reduced nerve conduction velocity¹, impaired motor skills² and foot deformities³. Single leg standing is one item in the CMT Pediatric Scale and was previously shown to be impaired in children with CMT⁴. The aim of the current study was to assess postural stability during single leg standing in children with CMT1a by means of centre of pressure (CoP) data and sample entropy (SampEn) compared to typically developing children (TDC).

Seven patients with CMT1a (13.0 ± 2.4 yrs) and 44 TDC (11.8 ± 3.2 yrs) were included in this study. All participants performed 3 single leg stands on each leg for 30 sec (or as long as possible). The shortest duration of single leg standing for at least one trial was 8 sec. Following, 95% confidence ellipse CoP area and the CoP path were calculated over 8 sec and the best trial based on the CoP area was used for further analysis. SampEn ($r=0.2$, $m=2$) was calculated for the best trial. Children with CMT1a were compared to 7 sex- and age-matched TDC (12.9 ± 2.3 yrs) by means of a *t*-test ($\alpha=0.05$) and Cohen's *d* effect size.

CMT1a showed a significantly bigger CoP area compared to TDC (1614 ± 1083 mm² vs. 653 ± 335 mm², $p = 0.045$, $d = 1.20$), whereas CoP path was not significantly different (767 ± 233 mm vs. 585 ± 137 mm, $p = 0.100$, $d = 0.95$). SampEn was comparable between CMT and TDC (2.07 ± 0.20 vs. 2.12 ± 0.26 , $p = 0.680$, $d = 0.23$).

Balance performance in single leg stance is impaired in children with CMT1a. However, postural complexity, expressed as SampEn, was not reduced compared to TDC. This suggests comparable cognitive contributions to postural control in children with CMT1a compared to TDC when performing single leg stance, despite increased postural sway.

¹Manganelli et al. Eur J Neurol. 2016;23:1566-71.

²Mori et al. Eur J Phys Rehabil Med. 2019;55:47-55.

³Maranho & Volpon. Rev Bras Ortop. 2009;44:479-86.

⁴Estilow et al. Muscle & Nerve. 2019;60(3):242-249.

Postersession V • Implantate/Tribologie/Biomaterialien

P26

Analyse von Art und Schwere der Schäden an ZTA-Keramik-Hüftimplantaten

J. Döring (Magdeburg/DE), A. Buchholz (Magdeburg/DE), M. Herbst (Magdeburg/DE), J. Gehring (Magdeburg/DE), U. Betke (Magdeburg/DE), J. Bertrand (Magdeburg/DE), C. Lohmann (Magdeburg/DE), Ł. Łapaj (Poznań/PL)

Fragestellung

Fast 90% der 2020 in Deutschland implantierten Hüftimplantate bestehen aus Keramik. Trotz der sehr guten Materialeigenschaften kommt es immer wieder zu Schadensfällen, welche ein Revisionsoperation notwendig machen. So beeinträchtigt ein von der Konus-Taper-Verbindung stammender Metalltransfer die Oberflächenqualität der artikulierenden Oberflächen. Zur detaillierteren Schadensfallanalyse wurden 40 Biolox delta Explantate mit CoC und CoPE Gleitpaarungen untersucht.

Methoden

Schadensart und -schwere wurde für jede Komponente (n=40) entsprechend eines modifizierten Hothi-Scores durchgeführt. Die Oberflächenrauheit wurde mit einem Konfokalmikroskop ermittelt. Die monokl. und tetragonalen Phasenanteile des Zirkonoxids wurden auf Basis von Raman-Untersuchungen bestimmt. Eine qualitative Analyse der Schadensmuster auf den Oberflächen sowie Abriebpartikeln im periprothetischen Gewebe wurde mithilfe eines Raster-Elektronen-Mikroskops und energiedispersiver Röntgenspektroskopie durchgeführt.

Ergebnisse

Die Schadensmuster beider Gleitpaarungen unterscheiden sich. Metallablagerungen konnten in 82% der CoC und 96% der CoPE Implantate identifiziert werden. Während die Schadensmuster "kleine"/ "mittlere Kratzer" bei keramischen Femurköpfen im proximalen Bereich häufiger sind, können größere Kratzer bei keramischen Inlays besonders im distalen Bereich beobachtet werden. Punktförmig auftretender Metalltransfer ist in allen Zonen zu finden. Im Bereich des Metalltransfers konnte ein Anstieg des monokl. Phasenanteils um bis zu 30 vol% sowie eine Vervielfachung der Rauheit auf $R_a = 48$ nm gemessen werden. Die Abriebpartikel im Gewebe sind keramischer und metallischer Natur, letztere stammen aus der Konus-Taper-Verbindung.

Schlussfolgerungen

Die Schadensmuster von keramischen und metallischen Implantaten ähneln einander. An den untersuchten CoC und CoPE Gleitpaarungen ist die Schwere von Schadenstypen mit Metalltransfer jedoch vergleichbar mit Schäden ohne Transfer.

P27

Steigerung des Torsionswiderstands der Konussteckverbindung durch einen angepassten Fertigungsprozess der CoCrMo Hüftkugel

J. Döring (Magdeburg/DE), V. Voropai (Magdeburg/DE), A. Thielecke (Magdeburg/DE), O. Maiß (Celle/DE), M. Müller (Magdeburg/DE), G. Meichsner (Magdeburg/DE), M. Hackert-Oschätzchen (Magdeburg/DE), J. Häberle (Magdeburg/DE), C. Lohmann (Magdeburg/DE), J. Bertrand (Magdeburg/DE)

Fragestellung

Das Versagen einer Hüftendoprothese, welche durch einen Folgeeingriff ersetzt werden muss, liegt in Deutschland laut Endoprothesenregister 2021 bei 10,4% aller Hüftgelenksoperationen. Davon sind 27,7% auf eine Lockerung zurückzuführen, welche oftmals eine Folge von partikulärem Abrieb ist. Die Verwendung von Hüftendoprothesen mit Metallköpfen in Deutschland ist aktuell auf 7,3 % zurückgegangen. Hier besteht enormes Verbesserungspotential in der Reduzierung von Verschleiß der Konussteckverbindung.

Methoden

Zur Verschleißreduzierung wurde ein Drehprozess um einen Walzprozess ergänzt, um eine belastungsspezifische Oberfläche zu erzeugen. Mit einem Innenwalzwerkzeug wurden "12/14" Innenkonen (Winkel 5,667°) aus CoCrMo-Halbzeugen mit vier Walzprozessen endbearbeitet (n = 4). Der Effekt des Walzens wurde durch die Charakterisierung von Rauheit, Härte und Eigenspannung sowie durch Gefügeanalysen ermittelt. Entsprechende Außenkonen wurden aus Ti6Al4V gefertigt und passenden Innenkonen zugeordnet. Die Winkelabweichung von Außen- zu Innenkonus liegt bei $-0,027^\circ \pm 0,011^\circ$. Zur Bestimmung des Torsionswiderstands erfolgte ein Fügen und anschließendes Tordieren auf einer Torsionsprüfmaschine.

Ergebnisse

An den gewalzten Innenkonen konnte eine Glättung der Oberfläche und Steigerung der Härte in der Randzone gemessen werden. Mit Anpassen des Walzens konnte spezifischer Einfluss auf Härte, Eigenspannung oder Oberfläche genommen werden. Die Torsionsmessungen zeigten eine deutliche Steigerung des Torsionswiderstands, im Bereich von einem Torsionsmoment von 2 Nm (typischer Bereich für Mikrobewegungen in der Konussteckverbindung), von über 38 % an gewalzten Konen im Vergleich zu nur gedrehten Konen.

Fazit

Mit Hilfe des Walzens kann der Torsionswiderstand in metallischen Konussteckverbindungen gesteigert werden. Dies führt zu einer Reduktion von Mikrobewegungen, wodurch Schäden an metallischen Bauteilen durch Verschleißpartikel und Korrosionsvorgänge reduziert werden.

P28

Einfluss unterschiedlicher Schmiermedien auf die Abriebuntersuchung von Knieendoprothesen

J. Hembus (Rostock/DE), P. Henke (Rostock/DE), J. Waletzko-Hellwig (Rostock/DE), D. Vogel (Rostock/DE), R. Bader (Rostock/DE)

Die Synovialflüssigkeit (SF) gilt als sehr gutes Schmiermittel, dessen rheologische und tribologische Eigenschaften jedoch starke patientenspezifische Unterschiede zeigen. Zur besseren Vergleichbarkeit wird für präklinische Abriebuntersuchungen künstlicher Kniegelenke bovines Serum als Schmiermedium empfohlen. Dieses besitzt jedoch andere rheologische Eigenschaften als humane SF. Inwieweit dadurch Unterschiede in den Abriebuntersuchungen resultieren, ist bislang wenig erforscht. Unklar ist, ob eine künstliche SF reproduzierbare und physiologische Verschleißbedingungen nachbilden kann und für Langzeitversuche geeignet ist. Ziel der Arbeit war es daher, die künstliche SF hinsichtlich ihrer Eignung als Schmiermedium für Abriebuntersuchungen von Knieendoprothesen zu evaluieren.

Bicondyläre CoCr-Femurkomponenten und gesättigte UHMWPE-Inserts des Multigen Plus Knieendoprothesen-Systems wurden nach ISO 14243-1 und 2 in künstlich hergestellter SF und bovinem Serum über 2,5 Mio. Zyklen in einem Knieabriebsimulator belastet. Alle 0,5 Mio. Zyklen erfolgten jeweils der Mediumwechsel sowie die gravimetrische Abriebmessung der Inserts. Die Abriebraten der Inserts in beiden Testflüssigkeiten wurden miteinander verglichen.

Für die Gleitpaarung CoCr gegen UHMWPE in künstlicher SF war eine mittlere Abriebrate von $19,69 \pm 1,24$ mg pro Mio. Zyklen zu verzeichnen. Der Abrieb der Inserts in künstlicher SF erhöhte sich mit steigender Zyklenzahl linear. Die makroskopische und mikroskopische Betrachtung zeigte typische Verschleißspuren und -mechanismen an den Inserts. Mit bovinem Serum zeigte sich im Vergleich jedoch eine geringere Abriebrate von $11,89 \pm 2,17$ mg pro Mio. Zyklen.

Die Ergebnisse bestätigen die prinzipielle Eignung der verwendeten künstlichen SF als alternatives Schmiermedium für Abriebuntersuchungen. Weiterführend sollten die generierten Abriebpartikel analysiert und die Ursachen für die erhöhte Abriebrate im Vergleich zum bovinem Serum als Schmiermedium eruiert werden.

P29

Dynamische biomechanische Untersuchung einer neu entwickelten Sulcus-bicipitalis-Platte in Kombination mit einer Standardosteosynthese zur Versorgung komplexer proximaler Humerusfrakturen

T. Wendler (Leipzig/DE), B. Fischer (Leipzig/DE), S. Schleifenbaum (Leipzig/DE), J. D. Theopold (Leipzig/DE), P. Hepp (Leipzig/DE)

Komplexe proximale Humerusfrakturen stellen hohe Anforderungen an eine osteosynthetische Versorgung. In einigen Fällen wurde bereits eine Doppelplattierung zur Erhöhung der Stabilität verwendet. Dieser Ansatz wurde in der vorliegenden Studie durch die Entwicklung einer Platte für den Sulcus bicipitalis, und einer dynamischen biomechanischen Untersuchung, vorangetrieben.

Es wurden 10 humane Humeruspaare proximal mit einer PENTA-Platte (Kleinfragment, INTERCUS) versorgt und anschließend ein 10mm dickes Knochenfragment distal des Kopfes resiziert. Die rechten Humeri wurden zusätzlich mit der neu entwickelten Platte versorgt, welche entlang des Sulcus bicipitalis verläuft und proximal das Tuberculum minus umschlingt. Anschließend sind die Humeri in einen zylindrischen Sockel eingebettet worden. Die Proben wurden in 20° Abduktion über 5000 Zyklen sinusförmig zw. 10N und 250N, und anschließend quasistatisch bis zum Versagen, belastet.

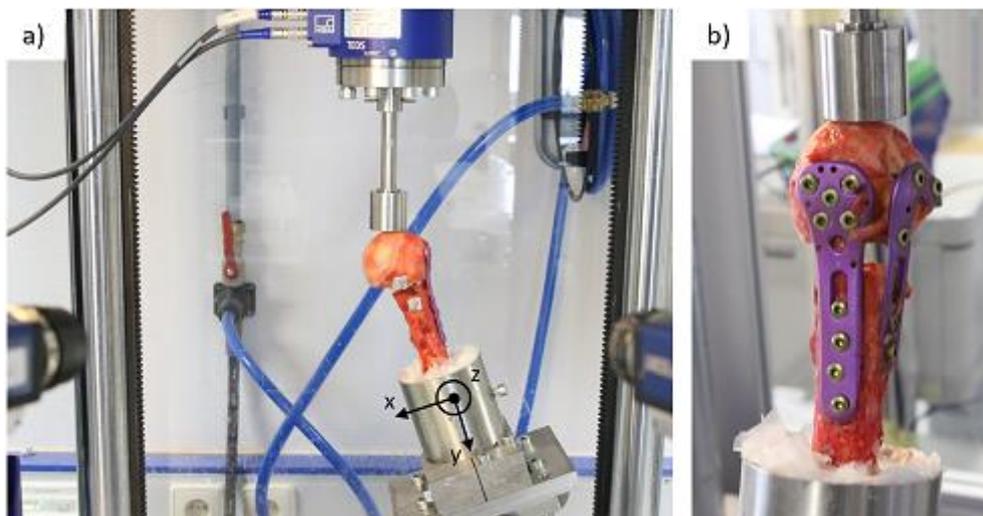


Abbildung 1: a) Versuchsaufbau der zyklischen Testung; b) Versorgung mittels neu entwickelter DPOS

Die Bewegung am Frakturspalt in Folge der zyklischen Belastung fand nahezu ausschließlich als Rotation um die z-Achse statt. Die Doppelplattenosteosynthese (DPOS) verringert die Rotation über sämtliche dargestellten Lastzyklen signifikant. Die Versagenslasten zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die neuartige DPOS zeigte im getesteten Worst-Case-Szenario unter zyklischer Belastung eine signifikante Überlegenheit der Primärstabilität gegenüber der Standardversorgung. Des Weiteren bietet die zusätzliche Platte die Möglichkeit auch komplizierte multifragmentäre Frakturen zu versorgen und erweitert somit das Einsatzfeld der Versorgung. Des Weiteren zeigten sich in der Studie die Vorteile der zyklischen Lasteinleitung gegenüber der in der Literatur häufig zu findenden quasistatischen Lasteinleitung bis zum Versagen.

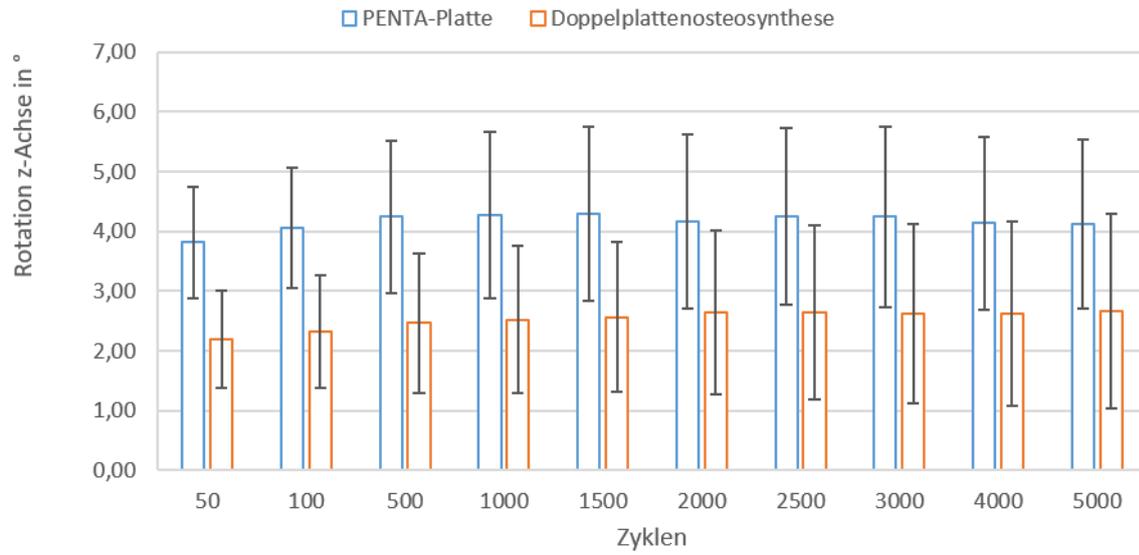


Abbildung 2: Rotation zw. Humeruskopf und -schaft um die z-Achse über die Anzahl eingeleiteter Lastzyklen

P30

Ein Vergleich der primären Stabilität von Multi Hole-Pfannen und Plattenosteosynthese bei Acetabulumfrakturen – eine biomechanische Studie

A. Höch (Leipzig/DE), R. Reise (Leipzig/DE), P. Pieroh (Leipzig/DE), C. E. Heyde (Leipzig/DE), J. K. Fackler (Leipzig/DE), S. Schleifenbaum (Leipzig/DE)

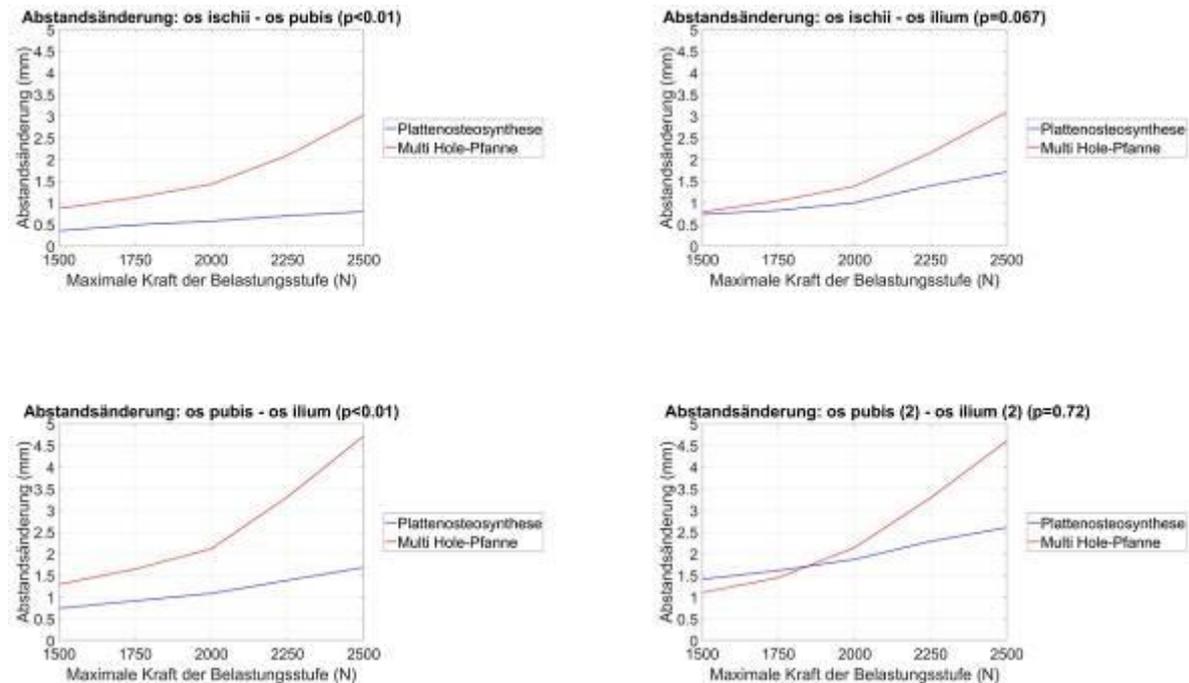
Fragestellung: Für Chirurgen stellen Acetabulumfrakturen eine besondere Herausforderung dar. Bei einer osteosynthetischen Versorgung hat die Rekonstruktion die höchste Priorität, um ein gutes Ergebnis zu liefern. Insbesondere bei älteren Patienten mit einer schlechten Knochenqualität ist eine anatomische Rekonstruktion keine Garantie für gute klinische Ergebnisse und kann zu einer frühen Arthrose führen, die mit Einschränkungen der Mobilität und Lebensqualität einhergeht. Die primäre endoprothetische Versorgung hat somit eine zunehmende Bedeutung bei der Versorgung dieser Patienten. Das Ziel dieser Studie war der biomechanische Vergleich der primären Stabilität beim Einsatz von konventionellen Plattenosteosynthese gegenüber der Versorgung mit Multi Hole-Pfannen.

Methodik: Jeweils sechs Hüftbeine mit einer Fraktur am vorderen Pfeiler und einer Hemiquerfraktur (ACPHT) wurden mit einer Plattenosteosynthese oder einer Multi Hole-Pfanne versorgt. Die Versuche wurden mit einem standardisierten Prüfaufbau und einer zyklischen Belastung in einem Belastungsbereich von 150 bis 2500 N durchgeführt. Mit Hilfe eines optischen 3D-Messsystems wurde die Frakturspaltenbewegung aufgezeichnet und nach der zyklischen Belastung die Versagenslast bestimmt.

Ergebnisse: In beiden Gruppen versagte ein Hüftbein bei der zyklischen Belastung und mit zunehmender Kraft wurde die Frakturspaltenbewegung in beiden Versuchsgruppen größer. (Abb. 1: Frakturspaltenbewegung zu verschiedenen Zeitpunkten in Abhängigkeit zu den Belastungsstufen) Die primäre Stabilität der Endoprothese war mit der Standard-Osteosynthese vergleichbar.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse scheinen vielversprechend, dass die primäre endoprothetische Versorgung mit einer Multi Hole-Pfanne und entsprechenden Schraubenfixierung bei typischen ACPHT-Frakturen eine vergleichbare Stabilität zur Osteosynthese erreicht. Jedoch sind klinische Studien erforderlich, um zu belegen, dass die Pfannen fest in den Knochen einheilen.

Abb. 1



P31

Zementaugmentation an der Symphyse: Ist eine Verbesserung der Schraubenfestigkeit und somit der Implantatstabilität möglich?

M. Kistler (München/DE), A. Cavalcanti Kußmaul (München/DE), F. Schwaabe (München/DE), M. Woiczinski (München/DE), C. Becker (München/DE), W. Böcker (München/DE), A. Greiner (München/DE)

Die offene Reposition und interne Fixation mittels anteriorer Plattenosteosynthese stellt derzeit den operativen Goldstandard für die Behandlung von Symphysensprengungen dar. In 78 bis 81 % der Fälle jedoch kann eine postoperative Schraubenlockerung beobachtet werden. Weiterhin wird die Implantatfestigkeit zunehmend durch die steigende Inzidenz eingeschränkter Knochenqualität aufgrund des demografischen Wandels kompromittiert. Deshalb war Ziel dieser Studie die Untersuchung, ob und inwieweit eine Zementaugmentation die Ausrisskraft symphysärer Schrauben erhöhen kann. Hierdurch soll langfristig die Stabilität der Konstrukte verbessert und ein Implantatversagen verhindert werden.

Durch die mittige Separierung zwölf menschlicher Leichensymphysen wurden zwei vergleichbare Hälften gebildet. Zunächst wurde eine nicht zementierte Schraube horizontal in den Ramus pubis superior eingebracht, während die kontralaterale Seite primär zementiert wurde. Anschließend wurden die Schrauben mit einer weggesteuert mit einer konstanten Geschwindigkeit von 10 mm/min herausgezogen und die Festigkeit der Schrauben anhand der Kraft (N)-/Dislokationsskurve (mm) bestimmt. Abschließend wurde die primär nicht zementierte Stelle entsprechend einem Revisionseingriff nach anfänglichem Implantatversagen sekundär augmentiert und die entsprechende Festigkeit erneut gemessen.

Die Zementaugmentation zeigte im Vergleich zu den nicht zementierten Schrauben signifikant höhere Ausrisskräfte mit einem Anstieg der Ausrisskraft um 377% bei der primären und 353% bei der sekundären Zementierung ($p < 0,01$). Es gab keinen signifikanten Unterschied in der Ausrisskraft beim Vergleich zwischen primärer und sekundärer Zementierung ($p = 0,738$).

Postersession VI • Methodik und Freie Themen

P32

Konzeption und Entwicklung einer Messmethode zur nicht-invasiven Bestimmung von Mikrorelativbewegungen von Endoprothesen

C. A. Fonseca Ulloa (Gießen/DE), T. Harz (Gießen/DE), A. Seeger (Gießen/DE), M. Rickert (Gießen/DE), A. Jahnke (Gießen/DE)

Die Voraussetzung für eine dauerhafte Fixierung zementfreier Endoprothesen ist eine ausreichende Primärstabilität und die darauffolgende Osseointegration des Implantats. Daraus leitet sich ein Zusammenhang zwischen mangelnder Osseointegration und frühzeitiger aseptischer Prothesenlockerung ab. Es gibt *in vivo* nur wenige Methoden, die die dynamische Darstellung von biologischem und physiologischem Prozess nach einer Implantation untersuchen und dabei ohne die Verwendung von Röntgenstrahlen auskommen. Daher ist das Ziel dieses Projekt einen neuen *in vivo* Ansatz zu konzipieren und dessen Algorithmus zu entwickeln, sowie die Machbarkeit eines Ultraschallsystems für diesen Zweck zu prüfen.

Der Algorithmus basiert auf dem konzeptionellen Ansatz, dass die Sensorpositionen als Mittelpunkte für verschiedene Kreise mit dem Messabstand (Sensor-Messobjekt) als Radius definiert sind.

Der Algorithmus wurde in zwei simulierten Messungen auf dessen Genauigkeit getestet. Danach wurden der Algorithmus mit fünf Zylinderknochen mit einer innenliegenden metallischen Stange experimentell auf Messwiederholungen getestet. Zuletzt und mit Hilfe eines Ultraschallsystems wurden statische Untersuchungen an einem diesen Zylinderknochen in Wasser durchgeführt.

Die simulierten Bewegungsunterschiede betragen eine mittlere Abweichung von 3,28 μm für den Knochen und 5,96 μm für die Prothese. In der zweiten Simulation wurde ein prozentueller Fehler von $\pm 1\%$ auf die simulierte Bewegung dazu berechnet. In diesem Fall sind die Abweichungen gestiegen. Die Reproduzierbarkeit ist in vier der fünf Mesobjekte gegeben. Bei der statischen Messung mittels Ultraschalles wurden Genauigkeiten bei der Messobjektrekonstruktion von 20 μm bis 300 μm erreicht.

Mit dieser Arbeit sind die Grundlagen sowohl für eine Messmethode als auch ein Rechenmodell zur nicht-invasiven Bestimmung der Mikrorelativbewegungen zwischen der Prothesen-Knochen-Grenzschicht *in vivo* erfolgreich vorangetrieben worden.

P33

Entwicklung eines 'rapid-prototyping' Verfahrens zur Herstellung von optischen Messmarkern für die Anwendung im biomechanischen Test

M. Sukopp (Ulm/DE), J. Schwer (Ulm/DE), L. de Roy (Ulm/DE), A. Ignatius (Ulm/DE), A. M. Seitz (Ulm/DE)

Fragestellung: Optische markerbasierte Bewegungsanalysesysteme werden zumeist zur Untersuchung der menschlichen Kinematik eingesetzt. Immer häufiger finden sie auch zur Erfassung makroskopischer Bewegungen bei in-vitro Untersuchungen Einsatz. Kommerziell erhältliche Messmarkersysteme (MS) sind nur bedingt für diese Untersuchungen ausgelegt, zudem nur in bestimmten Größen erhältlich und sehr kostenintensiv. Aus diesem Grund sollte ein effizientes Verfahren zur Herstellung variabler Messmarker entwickelt werden.

Methode: Zwei CAD-basierte MS (M1/M2; Abb.1) wurden per konventionellem 3D-Druckverfahren hergestellt und anschließend durch ein dreischichtiges dip-coating-Verfahren mit retro-reflektierendem Material beschichtet. Die erste Schicht dient dabei als Haftschicht, welches die zweite reflektierende Schicht auf den MS bindet. Im letzten Schritt wird eine dünne Deckschicht appliziert um die reflektierende Schicht zu schützen. Zur Validierung der Messgenauigkeit wurden die Marker auf einer Koordinatenmessmaschine platziert und in zwei translatorischen Raumrichtungen verfahren. Die auftretenden Abweichungen zum Sollwert wurden mittels zugehöriger Kinematiksoftware ermittelt und die Genauigkeit im Vergleich zu einem handelsüblichen MS bestimmt.

Ergebnisse: Die hergestellten MS wiesen eine widerstandsfähige, hochreflektierende Schicht auf, welche verzerrungsfrei durch die Software erfasst wurde. Die zwei unterschiedlich großen MS (M1-M2) ergaben Messgenauigkeiten zwischen 2,54 und 23,92µm, wobei der handelsübliche Marker zwischen 3,62 und 7,92µm lag (Abb.2). Die Kostenersparnis zum kommerziellen Produkt lag bei 95%.

Schlussfolgerung:Leistungsfähige MS lassen sich mit unserer Methode problemlos selbst herstellen. Die Genauigkeiten der mittels rapid-prototyping hergestellten Messmarker zeigen vergleichbare Werte zum Referenzmarker auf und sind dabei deutlich modifizierbarer. Ein weiterer klarer Vorteil dieses Herstellungsverfahrens liegt in ihrer Wirtschaftlichkeit.

Abb. 1

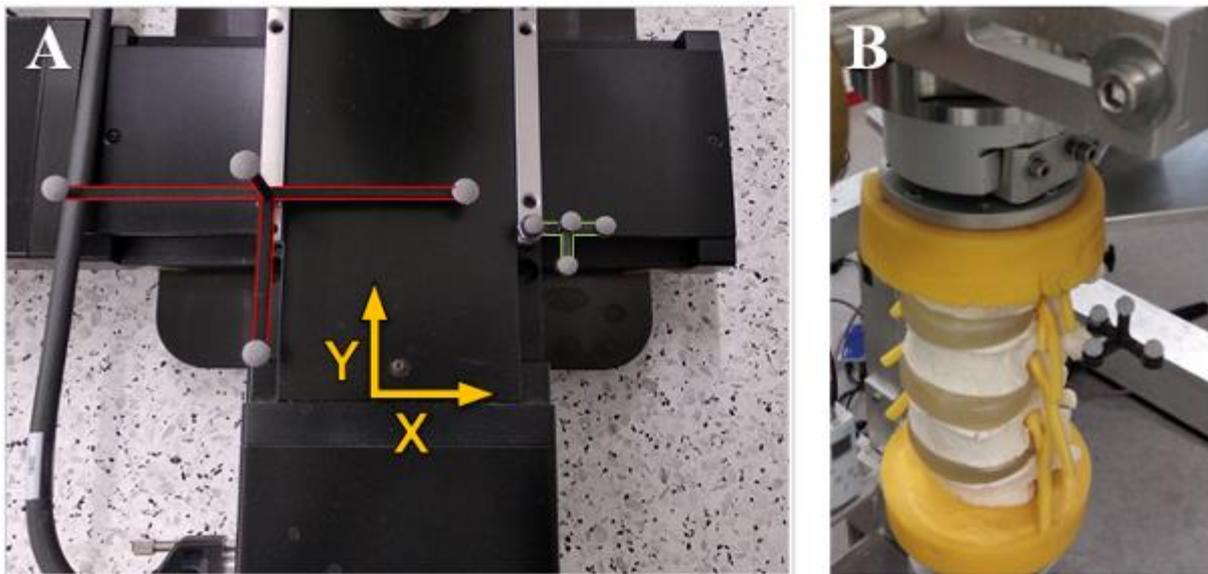


Abb.1: (A) Die zwei eigens gefertigten Messmarker (rot: M1, grün: M2), montiert in der Koordinatenmessmaschine. (B) Möglicher Einsatz des kleinen, an den Testaufbau angepassten Messmarker (M2) am Wirbelkörper im biomechanischen Testaufbau.

Abb. 2

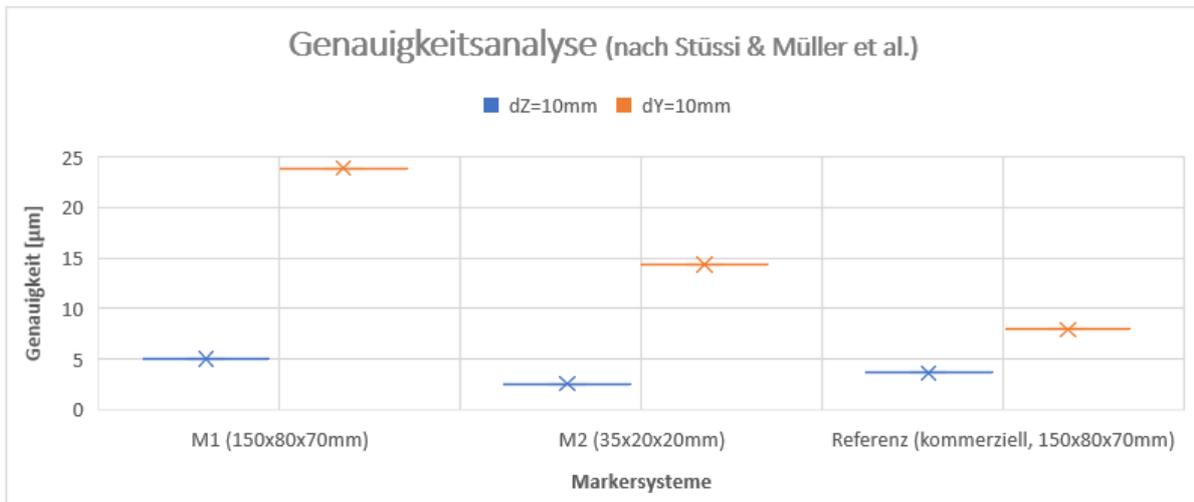


Abb.2: Genauigkeitsanalyse der MS, berechnet aus Sollwert der Koordinatenmessmaschine und ermitteltem Istwert der Kinematiksoftware. Vergleich der beiden selbst hergestellten Messmarker (M1 & M2) vs. kommerziell bezogenem Messmarker (Referenz).

P34

Entwicklung eines 2D Multiklassen U-Net zur automatischen Segmentierung von osteoarthritischen Kniemenisken

J. Schwer (Ulm/DE), H. Karus (Ulm/DE), R. Baumeister (Ulm/DE), H. Häfner (Ulm/DE), C. André (Ulm/DE), A. Ignatius (Ulm/DE), A. M. Seitz (Ulm/DE)

Fragestellung:

Quantitative Messungen der Menisken im Kniegelenk bieten großes Potential als Biomarker für die frühzeitige Erkennung der Osteoarthritis (OA). Derartige Analysen erfordern eine präzise 3D Rekonstruktion der Menisken. Manuelle Segmentierungen sind zeitaufwendig und erfordern zahlreiche subjektive Interpretationen zur Abgrenzung benachbarter Strukturen. Daher war das Ziel der Arbeit ein künstliches neuronales Netz zur automatischen Meniskus-Segmentierung zu entwickeln und mit der Inter- und Intra-Reproduzierbarkeit (I-I-R) manueller Segmentierungen quantitativ zu vergleichen.

Methoden:

Ein 2D Multiklassen U-Net zur automatischen Segmentierung und Klassifizierung lateraler (LM) und medialer (MM) Menisken wurde basierend auf 50 MRT-Datensätzen (sagittal DESS) der Osteoarthritis Initiative (OAI) entwickelt und evaluiert (60% Training; 20% Validierung; 20% Test). Die Genauigkeit wurde anhand von gescreenten, automatisch generierten Segmentierungen von [1] bewertet. Um die I-I-R manueller Segmentierungen zu analysieren wurden vier Datensätze von vier geschulten Beobachtern unabhängig segmentiert, wobei ein Datensatz jeweils dreimal mit einem zeitlichen Abstand von mindestens 48 Stunden segmentiert wurde.

Ergebnisse:

Die als Dice-Ähnlichkeitsindex (DSI) gemessene Genauigkeit der automatischen Segmentierung betrug im Mittel 90,2% für MM und 89,3% für LM. Der DSI der manuellen Segmentierung aus den I-I-R Untersuchungen (Tab. 1-2) war im Mittel um 10,0% für MM und um 6,0% für LM niedriger im Vergleich zur automatischen Segmentierung.

Schlussfolgerungen:

Die I-I-R Studie zeigte eine verminderte Reproduzierbarkeit manueller Segmentierungen. Quantitative Messungen hingegen, die bei der Überwachung und Diagnose von OA eingesetzt werden können, benötigen eine hohe Genauigkeit. Das hier entwickelte 2D U-Net beweist Effizienz und Präzision und kann daher für die automatische Erstellung genauer Segmentierungen verwendet werden.

[1] <https://pubdata.zib.de/>

Tab. 1

Tabelle 1: Inter-Reproduzierbarkeit: Dice Koeffizienten für die Segmentierungen aller Beobachterkombinationen (B1-B4) der Knie 1-4.

Beobachter Meniskus	Knie 1		Knie 2		Knie 3		Knie 4		mean	std	mean	std
	lateral	medial										
B1-B2	0.858	0.768	0.841	0.816	0.803	0.799	0.790	0.811	0.823	0.028	0.799	0.019
B1-B3	0.859	0.789	0.877	0.885	0.852	0.848	0.870	0.857	0.865	0.010	0.845	0.035
B1-B4	0.779	0.479	0.863	0.793	0.879	0.827	0.829	0.668	0.838	0.038	0.692	0.136
B2-B3	0.847	0.819	0.861	0.852	0.844	0.815	0.833	0.842	0.846	0.010	0.832	0.015
B2-B4	0.732	0.521	0.809	0.767	0.804	0.812	0.785	0.686	0.783	0.031	0.697	0.111
B3-B4	0.747	0.478	0.884	0.783	0.849	0.860	0.794	0.653	0.819	0.052	0.694	0.145
mean	0.893	0.882	0.914	0.924	0.897	0.903	0.843	0.798	0.829		0.760	
std	0.005	0.009	0.011	0.007	0.007	0.012	0.037	0.039	0.026		0.067	

Tab. 2**Tabelle 2:** Intra-Reproduzierbarkeit: Dice Koeffizienten für je zwei Segmentierungen (S1-S3) eines Beobachters (B1-B4).

Beobachter Meniskus	B1		B2		B3		B4	
	lateral	medial	lateral	medial	lateral	medial	lateral	medial
S1-S2	0.899	0.876	0.901	0.924	0.896	0.898	0.894	0.791
S1-S3	0.887	0.876	0.912	0.916	0.890	0.892	0.806	0.753
S2-S3	0.893	0.895	0.928	0.933	0.906	0.919	0.829	0.849
mean	0.893	0.882	0.914	0.924	0.897	0.903	0.843	0.798
std	0.005	0.009	0.011	0.007	0.007	0.012	0.037	0.039

P35

Imaging data obtained from subjects in a supine position may underestimate the extension potential of the gluteus maximus: a pilot study comparing muscle shape in supine vs. prone CT imaging

M. Kim (Suwon/KR), Z. Guan (Southampton/GB), M. Heller (Southampton/GB)

3D medical imaging can inform musculoskeletal models to understand determinants of musculoskeletal function and aid in clinical decision-making. Substantial inter-individual variation in muscle characteristics supports the use of 3D image data to capture such variation. However, patient positioning (supine vs. prone) may differentially affect muscle shape in the anterior and posterior compartments and result in unrealistic estimates of muscle function in areas undergoing deformation. This pilot study aimed to assess the effect of positioning in CT imaging of the hip on the shape of the gluteus maximus (gmax) muscle.

Data of 6 females (mean age 57.7y, SD 3.9y) from publically available CT scans of the pelvis in supine and prone positions obtained for non-orthopedic reasons was used. The pelvis bones were segmented with a deep-learning approach and used to register the supine to the prone data. Outlines of the left gmax were manually traced to compare complete transverse muscle cross-sections at the level of the hip centre. Muscle cross-sections were split into 3 parts (lateral, central, medial) of equal area (Fig 1) and the AP and ML locations of their centroids to the hip centre were compared between conditions.

Differences in the median locations of the 3 parts of gmax were most pronounced in the AP direction of the central (14.9mm) and medial parts (13.3mm), and the ML direction of the lateral part (10.6mm) (Fig 2).

This pilot study shows a profound influence of patient position during CT imaging on the shape of the gmax. Data from supine scans underestimated the muscles' potential for hip extension with AP distances to the hip centre of the central and medial parts smaller by 19% and 15% (median) than those from a prone scan. Compression of the muscle in the supine scans positioned the lateral part of gmax up to 35mm more lateral than in the prone scans hinting at considerable effects also on estimates of the int/external rotation capability of the muscle.

Abb. 1

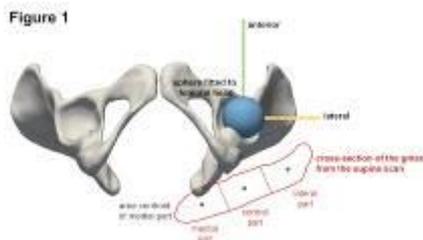
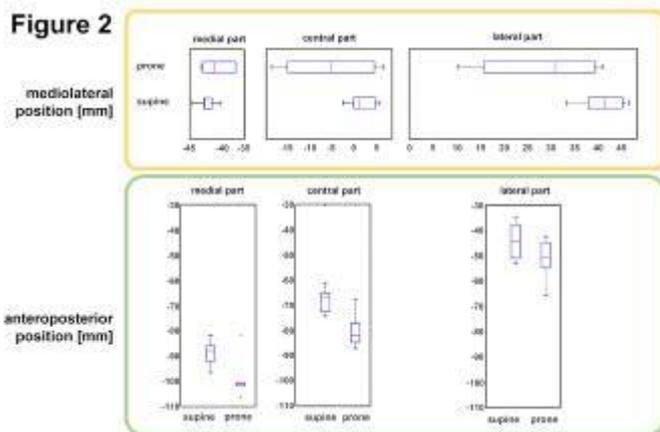


Abb. 2



P36

Computational bite force estimation from a human mandible density profile

H. Saleh (Berlin/DE), M. Weiser (Berlin/DE)

Introduction Occlusal overload of dental implants produces complications which may result in its failure. While bite force information is essential to properly design and position dental implants, it is not routinely available. According to Julius Wolff bone morphology is a product of its loading history [1], we investigate the possibility of extracting bite force information from a human mandible geometry and its corresponding density map (CBCT images).

Methods We first build a forward model by adopting and expanding on the theory which treats bone as a self optimizing material and remodels till reaching a homeostatic value of natural strain energy density introduced by Huiskes [2]. The computer model is based on the finite element method (FEM), we assume the bone domain is occupied by a linear elastic continuum where it's mechanical properties are dependent on it's apparent density. Given an initial state, we apply bite forces on a human mandible geometry producing a strain energy signal. We extend the model and assume the signal diffuses to the surrounding tissue and decays at a constant rate described by the diffusion equation. Secondly, we use the developed model to generate pairs of bite forces and density profiles then the problem is solved in an inverse setting using a least squares FE approximation.

Results The proposed forward bone remodeling sensory model doesn't suffer from stiffness localization while being suitable for large meshes and 3D applications (Fig1).

Conclusion Here, we propose an extended forward model for bone remodeling. Undergoing work is focused on identifying bite forces from the generated density. Future work will include validating the model.

References

[1] Rik Huiskes, HHJG Weinans, HJ Grootenboer, M Dalstra, B Fudala, and TJ Slooff. Adaptive bone-remodeling theory applied to prosthetic-design analysis, 1987.

[2] Julius Wolff. Das gesetz der transformation der knochen, berlin, a. hirschwild. The Law of Bone Remodeling, 1892.

Abb. 1

