

3D-Ganganalyse bei degenerativen Kniepathologien vor und nach der Intervention mit einer medizinischen Trainingstherapie

Comparison of the gait by patients with knee disorders before and after medical training therapy with the usage of a 3D-gait-analysis-system

Sauer J, Gohde M, Thomas M, Falz R, Bischoff C, Hoppe S, Leps C, Busse M

Institut für Sportmedizin & Prävention / Sportmedizinische Ambulanz der Universität Leipzig (Direktor: Prof. Dr. med. M. Busse)

Zusammenfassung

Sauer J, Gohde M, Thomas M, Falz R, Bischoff C, Hoppe S, Leps C, Busse M. 3D-Ganganalyse bei degenerativen Kniepathologien vor und nach der Intervention mit einer medizinischen Trainingstherapie (KCS) 2013, 14(1):13-23

Einleitung: In dieser Studie wurde der Einfluss einer kniespezifischen medizinischen Trainingstherapie auf das Gangbild bei Patienten mit degenerativen Kniepathologien analysiert. Von Interesse war außerdem, ob eine Annäherung des posttherapeutischen Ganges an die Daten gesunder Probanden stattfindet.

Methode: Im Rahmen einer prospektiven Längsschnittstudie wurden 18 Patienten (9 Männer, 9 Frauen) im Alter von $63,3 \pm 8,79$ Jahren (Altersspanne 43 bis 78 Jahren) mit klinisch manifesten, degenerativen Kniepathologien erfasst, deren Gangbild vor und nach mehrwöchiger ($16,56 \pm 2,91$) Intervention mit einer kniespezifischen medizinischen Trainingstherapie analysiert wurde. Als Vergleich diente ein gesundes Normalkollektiv. Die Ganganalysen erfolgten mit einem Bewegungsanalysesystem (LUKOtronic, Österreich) und Infrarot-Hautmarkern.

Ergebnisse: Spurbreite ($p = .0001$), mittlere Schrittweite ($p = .04$) des gesunden Beines und die mittlere Schrittweite ($p = .03$) des erkrankten Beines verbesserten

sich nach der Intervention (höchst-)signifikant, blieben jedoch größtenteils unter den Werten der Kontrollgruppe. (Hoch-)Signifikante Unterschiede ($p < .05$; $p < .01$) zwischen dem prä- und posttherapeutischen Test wurden für die Dorsalextension des oberen Sprunggelenks, die Extension des Knie- sowie Hüftgelenks, die Rotation des Beckens, die Inversion des unteren Sprunggelenks und die Adduktion der Hüfte ermittelt. Im Vergleich zwischen gesunder und kranker Seite zeigten sich innerhalb der Flexion des Hüftgelenks in der ersten Untersuchung signifikante ($p < .05$), in der zweiten Analyse hochsignifikante ($p = .008$) Differenzen. Des Weiteren lieferte die Varus-/Valgusstellung des Kniegelenks im Prätest einen statistisch bedeutsamen Unterschied zwischen dem gesunden und kranken Bein ($p = .02$).

Fazit: Das Bewegungsmuster von Patienten mit degenerativen Kniegelenkspathologien verbesserte sich nach einer kniespezifischen medizinischen Trainingstherapie, normalisierte sich nach 17 Wochen jedoch nicht. Des Weiteren konnte eine tendenzielle Annäherung an ein physiologisches Gangbild beobachtet werden.

Schlüsselwörter: Ganganalyse, Kniepathologien, Gangbild, medizinische Trainingstherapie

Abstract

Sauer J, Gohde M, Thomas M, Falz R, Bischoff C, Hoppe S, Leps C, Busse M. Gait comparison in patients with knee disorders before and after training therapy. (KCS) 2013, 14(1): 13-23

Objective:

- To examine the effect of a knee specific medical training therapy on the gait of patients with knee disorders.
- To compare post-therapeutic gaits of the patients with healthy individuals.

Methods: The investigation sample included 18 persons (9men, 9 women). All of them were characterized by clinically well documented knee disorders and were measured pre- and post-therapy. The healthy reference group also included 18 persons. The data were collected using 3D-gait analysis and included distance-time-parameters and kinematic parameters.

Results: The patients with knee disorders showed significant improvements after the knee specific training therapy in step width ($p=.0001$), average step length of the affected ($p=.03$) and the healthy leg ($p=.04$). But compared to the reference group the parameters were not normalized. Furthermore the joint movements of the patients differed significantly in dorsal extension (upper ankle joint), inversion (lower ankle joint), extension (knee- and hip joint), pelvic rotation and hip adduction between the pre- and post-therapeutic tests. Side difference analysis showed that in the pre- and post test there were significant differences in the flexion of the hip joint between healthy and affected leg.

The patients with knee disorders showed significant differences to the reference group in distance-time parameters and joint movements in the sagittal plane. There was no evidence for a preferred side usage in the patients. The results of the side difference analysis of the

healthy persons differ significantly in adduction and abduction in the hip joint in mid stance.

Conclusion: With a reliable and easy to handle measurement-system patients with knee disorders and healthy persons were investigated. The data indicate that the gait of patients with knee disorders may improve after

a knee specific training therapy. After therapy the gait of the patients approached to the physiologically correct gait, but was not normalized.

Key words:

Gait-analysis, knee disorders, gait

Einleitung

Degenerative Erkrankungen des Kniegelenks stellen aufgrund ihrer kennzeichnenden Symptome wie Schmerz und Bewegungseinschränkung eine Belastung im Alltag der Betroffenen dar und resultieren in einer Einschränkung der Lebensqualität. Spahn gibt an, dass die Prävalenz von Kniebeschwerden im Durchschnitt bei 30% liegt. Dabei stehen die Erscheinungen bei steigendem Alter häufig mit Knorpelschäden oder Arthrose in Zusammenhang [17]. Laut Lützner et al. sind etwa 10% der europäischen Bevölkerung von der Arthrose des Kniegelenks betroffen [9]. Die Strategien der Schmerzvermeidung manifestieren sich oftmals in Ausweichbewegungen, welche sich durch einen einseitig orientierten Gang auszeichnen. Nicht nur dieser veränderte Bewegungsrhythmus, sondern auch die Reduzierung von Bewegungsdauer, -umfang und -geschwindigkeit sind anlässlich dessen typische

Merkmale [7]. Die 3D-Ganganalyse kann hinsichtlich der Diagnostik gestörter Gangbilder und der Therapieplanung sowie ihrer Qualitätssicherung herangezogen werden. Mit Hilfe von kinematischen Daten und Weg-Zeit-Parametern können Aussagen über pathologische Gangmuster getroffen und wichtige Erkenntnisse für die konservative Trainingstherapie gewonnen werden. Im Rahmen dessen stellt die Wiederherstellung eines unauffälligen Gangbildes, neben der Schmerzlinderung, Beweglichkeitsverbesserung und Sicherung der Lebensqualität, ein Teilziel der Patienten dar. Im Mittelpunkt der vorliegenden Studie stand die Beantwortung der Frage, inwieweit sich eine mehrwöchige medizinische Trainingstherapie auf das Gangbild bei Patienten mit degenerativen Kniepathologien auswirkt und, ob sich das Post-Gangbild an die Parameter gesunder Probanden angleicht.

Methodik

Studienkollektiv:

Das Durchschnittsalter der 9 weiblichen und 9 männlichen Patienten zum Zeitpunkt der ersten Ganganalyse betrug $63,3 \pm 8,79$ Jahre (Altersspanne 43 bis 78 Jahre). Die Probanden wurden im Rahmen eines Knieprojektes zur konservativen Therapie degenerativer Kniepathologien am Institut für Sportmedizin und Prävention der Sportwissenschaftlichen Fakultät, Universität Leipzig für die Ganganalyse geworben. Den Versuchspersonen war die Teilnahme an der Untersuchung freigestellt. Innerhalb des teilnehmenden Patientenkollektivs konnten drei verschiedene Krankheitsbilder unterschieden werden (Tab.1). Hierbei ist zu beachten, dass die Unterteilung nach der jeweiligen Hauptdiagnose des Patienten vorgenommen wurde. In vielen Fällen lagen Kombinationen der ausgewählten Pathologien vor. Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht die anthropometrischen Charakteristika sowie Diagnosen der Testpersonen.

Untersuchungsablauf:

Die prätherapeutische Ganganalyse erfolgte anlässlich des ersten Patientenkontaktes innerhalb der Sprechstunde des Knieprojektes. In den darauf folgenden Wochen nahmen die Patienten 1- bis 2-mal wöchentlich an der 60- bis 90-minütigen medizinischen Trainingstherapie teil. Nach durchschnittlich $21,94 \pm 4,05$ Therapieeinheiten wurde die ganganalytische Untersuchung unter den gleichen Bedingungen (Räumlichkeiten, Laufband, Geschwindigkeit, Untersucher) erneut durchgeführt.

Für die Aufzeichnung des Gangbildes wurde die Kameraeinheit MCU 100® mit dazugehöriger automatischer Auswertungssoftware von LUKOtronic OEG (Innsbruck, Österreich) verwendet.

Vorbereitungsphase:

Um eine möglichst optimale Durchführung der Untersuchung zu gewährleisten, wurden die Empfehlungen von Amelung und Seidel (2005) angewendet [1]. Die Patienten wurden gebeten, sich bis auf die Unterwäsche zu entkleiden und barfuß auf das Laufband zu begeben. Während der Markerapplikation durch die Untersucher wurde das weitere Prozedere der Testung detailliert erläutert. Die insgesamt 16 Infrarotmarker wurden mittels doppelseitigen Klebebands auf der Haut des Patienten angebracht. Die Befestigung erfolgte auf die von Perry exakt definierten anatomischen Punkte, die die Bewegungen der Gelenke genau wiedergaben [15].

Übungsphase:

Nach Abschluss dieser Vorbereitungen erhielt der Patient innerhalb einer Übungsphase ausreichend Zeit, um sich mit den Gegebenheiten vertraut zu machen. Von den eben genannten Autoren wird dieser Teil als

Tabelle 1: Anthropometrische Daten und Diagnose der untersuchten Patienten (n = 18).

	Männer (n=9)	Frauen (n=9)
Alter [Jahre]	$65,0 \pm 8,51$	$61,56 \pm 8,73$
Größe [m]	$1,79 \pm 0,08$	$1,62 \pm 0,06$
Gewicht [kg]	$93,5 \pm 18,4$	$80,3 \pm 16,7$
BMI [kg/m ²]	$29,2 \pm 6,0$	$30,5 \pm 5,8$
Diagnose:		
- Gonarthrose	5	6
- Meniskusdegeneration	3	-
- Chondropathia patellae	1	3

wichtigste und schwierigste Phase der ganganalytischen Untersuchung beschrieben. In Abhängigkeit von dem Alter, der Bewegungserfahrung, dem motorischen Fähigkeitsniveau und dem Grad der Gangstörung des Patienten sowie ggf. psychologischen Aspekten und vegetativen Symptomen, variierte die Dauer der Übungsphase zwischen fünf und zehn Minuten. Die Geschwindigkeit wurde individuell und in Abstimmung mit dem Patienten gewählt. Hierbei wurde auf sehr geringem Niveau gestartet und in Abständen von 0,1 km/h stetig gesteigert bis die für den Patienten angenehmste und leichtfälligste Geschwindigkeit erlangt wurde. Im Durchschnitt betrug die Gehgeschwindigkeit $3,15 \pm 0,68$ km/h (Spannweite 1,6 bis 4,5 km/h). Die Testpersonen wurden darauf hingewiesen, ihre Körperbewegung, einschließlich des Armschwungs, trotz ungewohnter Bedingungen in keiner Weise einzuschränken.

Untersuchungsphase:

Eine 60-sekündige Aufzeichnung mehrerer Doppelschrittzyklen bei gleichmäßiger Geschwindigkeit und 3° Steigung erfolgte sobald der Patient eine Adaptation an das Laufband erreicht hatte. Nach dieser Minute war die Dokumentation des Gangbildes abgeschlossen, sodass dem Proband die Markerketten abgenommen und die Daten mittels automatischer Software ausgewertet werden konnten. Die Ergebnisse wurden, wie in der Auswertungssoftware vorgegeben, in den nachstehenden acht Unterphasen eines Gangzyklus dargestellt:

- Initialer Bodenkontakt IB
- Belastungsantwort BA
- Mittlere Standphase MS
- Terminale Standphase TS
- Vor-Schwungphase VS
- Initiale Schwungphase IS
- Mittlere Schwungphase MSch
- Terminale Schwungphase TSch

Durchführung der medizinischen Trainingstherapie:

In der mehrwöchigen Zeitspanne zwischen der ersten und zweiten ganganalytischen Untersuchung erfolgte eine kniespezifische Therapie, in deren Rahmen Ausdauertraining, Sensomotorisches Training,

Ergebnisse

Weg-Zeit-Parameter

Die Ganganalyse erbrachte höchstsignifikant geringere Gehgeschwindigkeiten bei den Patienten mit degenerativen Kniegelenkspathologien ($3,15 \pm 0,68$ km/h; Spannweite 1,6 - 4,5 km/h) im Vergleich zu der Referenzgruppe von Perry, deren Gehgeschwindigkeit ausnahmslos 4,8 km/h betrug. Darüber hinaus zeigte sich die Spurbreite der Untersuchten im Posttest mit $9,48 \pm 2,95$ cm höchstsignifikant ($p = .0001$) niedriger gegenüber dem Prätest ($11,41 \pm 2,41$ cm). Bezüglich der mittleren Schrittweite waren signifikant ($p = .04$) höhere Werte im zweiten Test ($50,26 \pm 9,99$ cm) zu beobachten als im ersten ($47,97 \pm 9,25$ cm). Die differenzierte Betrachtung der mittleren Schrittweite des erkrankten Beines deckte eine signifikante Veränderung von Prä- zu Posttest auf ($p = .04$). Während die Schrittweite des

Isokinetisches Training sowie Sequenztraining zum Einsatz kamen. Im Anschluss an eine circa zehnminütige Erwärmungsphase auf dem Fahrrad- (Kettler®), Laufband- (Woodway®) oder Handkurbelergometer (ergoline®) führten die Patienten verschiedene Übungen an Sequenzgeräten der Marke compass® (Beinpresse, Beinstrecker) und isokinetischen Seilzugverfahren (Moflex®) mit Übungen in geschlossener Kette durch. Am Doppelseilzug erfolgte des Weiteren die Kräftigung der Beinbeuger. Pro Gerät und betroffenem Gelenk wurden drei bis vier Serien à 10-20 Wiederholungen mit einer Minute Serienpause ausgeübt. Anlässlich des sensorischen und propriozeptiven Trainings kamen das Posturomed® und das Airex Balance-Pad®, auch in Verbindung mit dem Doppelseilzug, zum Einsatz. Die progressive Steigerung der Widerstandskräfte kennzeichnete insbesondere das isokinetische Training. Von der ersten bis zur letzten Trainingseinheit vor der wiederholten Ganganalyse konnte die konzentrische Kraft am Moflex um das 2- bis 3-fache, in einigen Fällen sogar 4-fache, gesteigert werden. Die Entwicklung der exzentrischen Kraftwerte variierte zwischen relativ konstanter Leistung und kontinuierlicher Steigerung, ähnlich dem Verlauf der konzentrischen Zahlen. Gemäß einer strukturierten medizinischen Trainingstherapie erfolgte der Vergleich individueller Patientenwerte mit entsprechenden Referenzdaten. In gegenseitiger Abstimmung zwischen Patient und Therapeut wurde eine stetige Steigerung der Widerstände auf dem Ergometer, an den Sequenzgeräten und Seilzügen vorgenommen.

Statistik:

Die statistischen Auswertungen wurden mit dem Statistikprogramm GraphPad Prism Version 5® sowie Microsoft Office Excel 2003® durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse innerhalb der deskriptiven Statistik werden als Mittelwerte (MW) \pm Standardabweichung (SD) angegeben. Differenzen wurden mit dem t-Test für gepaarte Stichproben auf Signifikanz überprüft. Für Signifikanzangaben gilt hierbei: signifikant = $p < 0.05$, hochsignifikant = $p < 0.01$, höchstsignifikant = $p < 0.001$.

betroffenen Beines in der ersten Untersuchung $47,85 \pm 9,62$ cm betrug, konnte diese nach der therapeutischen Intervention (bei gleicher Geschwindigkeit) auf $50,27 \pm 9,88$ cm gesteigert werden. Der Unterschied der gesunden Seite stellte sich als statistisch unbedeutsam heraus. Weder im Prä- noch im Posttest konnten signifikante Differenzen zwischen der gesunden und kranken Seite festgestellt werden (Tabelle 2). Insgesamt liegen alle Werte der mittleren Schrittweite außerhalb der Normwerte nach Perry (60 – 96 cm).

Aufgrund der Modifizierung der Rohdaten, die dazu führt, dass die Anfangspunkte jeder Gelenkbewegung in der Phase des initialen Bodenkontaktes der Nulllinie entsprechen, wird dieser Teil des Gangzyklus in der tabellarischen Ergebnisdarstellung ausgespart.

Tabelle 2: Ergebnisse der Weg-Zeit-Parameter vor und nach der therapeutischen Intervention (n = 18; p < 0.05*; p < 0.01).**

	Spurbreite [cm]	mittlere Schrittweite [cm]	Mittlere Schrittweite gesund [cm]	mittlere Schrittweite krank [cm]	Signifikanz gesund vs. krank
prä	11,41±2,41	47,97±9,25	48,09 ± 9,16	47,85 ± 9,62	.76
post	9,48 ± 2,95	50,26±9,99	50,25±10,27	50,27 ± 9,88	.97
Signifikanz prä vs. post	.0001***	.0388*	.0795	.0311*	-

Kinematische Parameter

Tabelle 3 und die Abbildungen 1 bis 6 veranschaulichen die Unterschiede zwischen gesunder und kranker unterer Extremität innerhalb der kinematischen Daten, die während des Prä- bzw. Posttests auftraten. Bei der Berechnung der Parameter Flexion/Extension Knie krank, Flexion/Extension Hüfte krank, Varus/Valgus Knie krank und Adduktion/Abduktion Hüfte krank konnte sich aufgrund technischer Fehler lediglich auf die Werte von 17 der 18 Patienten gestützt werden. Im Vergleich zwischen gesunder und kranker Seite zeigten sich

innerhalb der terminalen Schwungphase der Flexion/Extension des Hüftgelenks signifikante Unterschiede in der ersten Untersuchung ($p < .05$) und hochsignifikante Differenzen in der zweiten Analyse ($p = .008$). Eine weitere Signifikanz war in der Varus-/Valgusstellung des Kniegelenks zu beobachten: In der mittleren Standphase des Prätests traten statistisch bedeutsame Unterschiede zwischen des gesunden und kranken Beines auf ($p = .02$). Alle weiteren Parameter waren statistisch unauffällig.

Tabelle 3: Unterschiede innerhalb der kinematischen Parameter zwischen erkrankter und gesunder Seite im Prä- bzw. Posttest (n = 17 bzw. 18; p < 0.05*; p < 0.01)**

Gangphasen	BA	MS	TS	VS	IS	MSch	TSch
OSG							
- prä	.30	.66	.92	.77	.80	.73	.22
- post	.21	.16	.06	.64	.43	.31	.47
Knie Flex/Ex							
- prä	.68	.22	.46	.24	.31	.48	.37
- post	.16	.84	.40	.45	.90	.98	.13
Hüfte Flex/Ex							
- prä	.94	.33	.34	.27	.27	.34	< .05*
- post	.23	.46	.25	.46	.59	.39	.008**
USG							
- prä	.79	.56	1.00	.05	.08	.44	.69
- post	.09	.20	.30	.15	.22	.25	.95
Knie Varus/Valgus							
- prä	.20	.02*	.18	.78	.85	.53	.28
- post	.27	.35	.98	.97	.15	.09	.42
Hüfte Add./Abd.							
- prä	.23	.09	.25	.59	.92	.46	.91
- post	.17	.36	.80	.85	.38	.36	.93

Die Veränderungen der kinematischen Winkelparameter zwischen Prä- und Posttest werden im folgenden Abschnitt für jedes ermittelte Gelenk separat betrachtet. Innerhalb dessen findet außerdem eine Unterteilung zwischen kranker und gesunder Seite statt. Eine Darstellung über alle Unterschiede liefert Tabelle 4.

eine tendenzielle Annäherung an die Referenzkurve zu beobachten. Auf der gesunden Seite stellten sich keine statistisch bedeutsamen Veränderungen zwischen Erst- und Zweittest heraus.

3.2.1 Plantarflexion/Dorsalextension des oberen Sprunggelenks

Im oberen Sprunggelenk des erkrankten Beines zeigten sich zwischen dem Prä- und Posttest signifikante Unterschiede in der terminalen Standphase ($p = 0.04$). Hier war eine Zunahme in Richtung Dorsalextension und

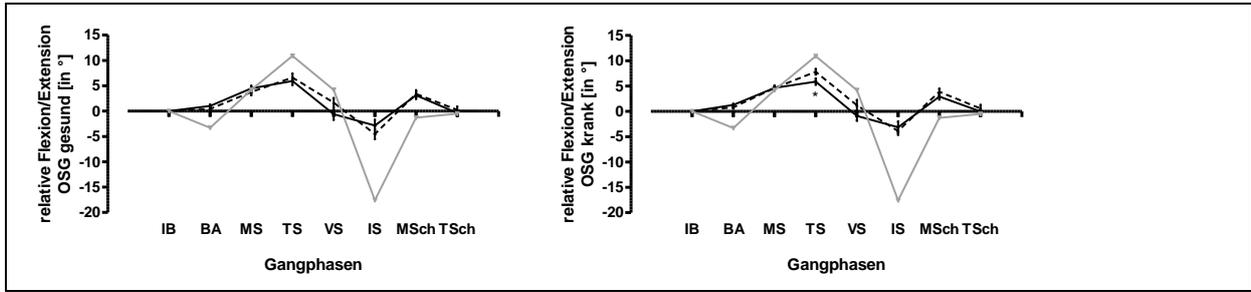


Abbildung 1: Darstellung der relativen Kurvenverläufe der Flexion/Extension des oberen Sprunggelenks innerhalb des Gangzyklus. Prä-Post-Vergleich der gesunden bzw. kranken Seite. Schwarze Linie = prä/gesund, gestrichelte Linie = post/krank, graue Linie = Referenz.

3.2.2 Flexion/Extension des Kniegelenks

Die signifikanten Abweichungen der Posttest- von denen der Prätestergebnisse beschränken sich bei beiden Kniegelenken (gesund und krank) auf die terminale Schwungphase. Während sich die Extensionsbewegung

auf der kranken Seite als signifikant größer erweist ($p = .01$), ist selbige auf der gesunden Seite sogar hochsignifikant stärker ausgeprägt ($p = .007$). In beiden Fällen neigt sich der Postwert dem des Referenzkollektivs an.

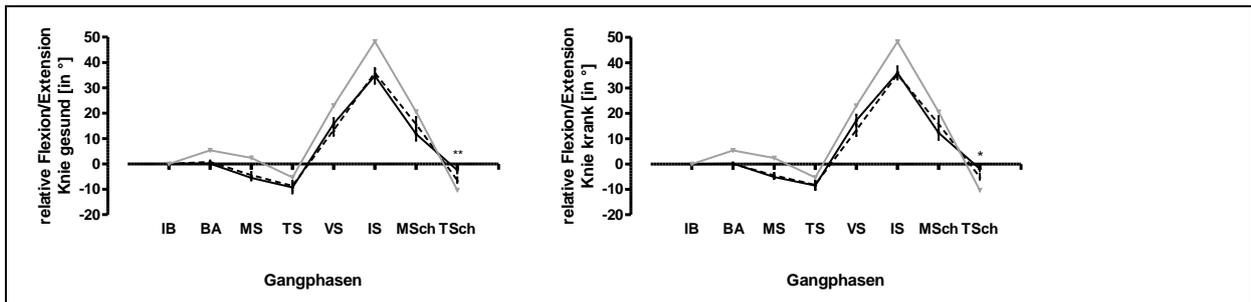


Abbildung 2: Darstellung der relativen Kurvenverläufe der Flexion/Extension des Kniegelenks innerhalb des Gangzyklus. Prä-Post-Vergleich der gesunden bzw. kranken Seite. Schwarze Linie = prä/gesund, gestrichelte Linie = post/krank, graue Linie = Referenz.

3.2.3 Flexion/Extension des Hüftgelenks

Innerhalb der Gangphasen des Hüftgelenks der gesunden Seite konnten keine signifikanten Veränderungen zwischen Prä- und Posttest festgestellt werden. Hinsichtlich der erkrankten unteren Extremität

erwies sich die vermehrte Extensionsbewegung innerhalb der Vor-Schwungphase als signifikant ($p = .04$). Auch hier näherte sich die Postkurve den Werten des Normalkollektivs an.

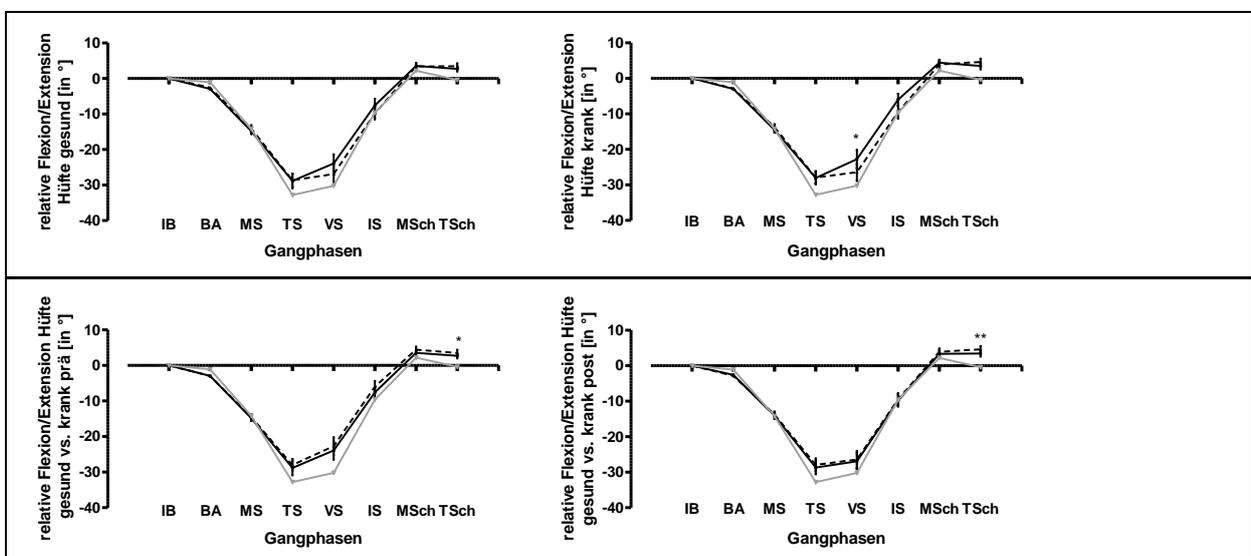


Abbildung 3: Darstellung der relativen Kurvenverläufe der Flexion/Extension des Hüftgelenks innerhalb des Gangzyklus. Oben: Prä-Post-Vergleich der gesunden bzw. kranken Seite. Unten: Vergleich zwischen gesunder und kranke Seite im Prä- bzw. Posttest. Schwarze Linie = prä/gesund, gestrichelte Linie = post/krank, graue Linie = Referenz.

3.2.4 Rotation des Beckens

Die Beckenrotation zeigte in drei Gangphasen statistisch bedeutsame Unterschiede zwischen dem ersten und zweiten Testzeitpunkt auf. In der mittleren Standphase bewegte sich das Becken hochsignifikant geringer nach ventral ($p = .007$). Diese Tendenz zeigte sich auch in der folgenden terminalen Standphase als signifikant ($p = .01$). Während der terminalen Schwungphase fiel die Beckenrotation von dorsal nach ventral signifikant geringer aus ($p = .03$). Abgesehen von der hochsignifikanten Veränderung in der mittleren

Standphase näherten sich die anderen Ergebnisse des Posttests den Zahlen der Referenzkurve an.

3.2.5 Heben/Senken des Beckens

Die Unterschiede der Prä- und Posttests im Heben und Senken des Beckens erwiesen sich als statistisch unbedeutsam. Die Ergebnisse des Posttests näherten sich zwar tendenziell den Werten der Referenzkurve an, aufgrund der großen Streuung zeigte sie allerdings keine Signifikanz.

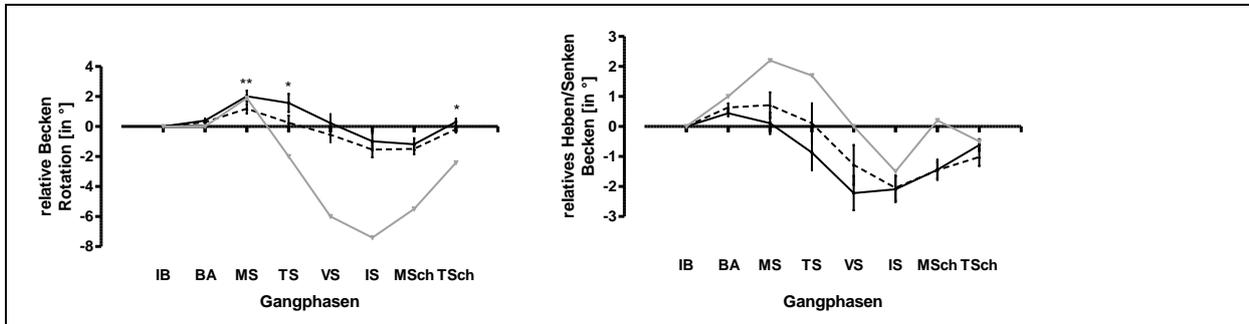


Abbildung 4: Darstellung der relativen Kurvenverläufe der Beckenrotation (links) und des Heben/Senken des Beckens (rechts) innerhalb des Gangzyklus im Prä-Post-Vergleich. Schwarze Linie = prä, gestrichelte Linie = post, graue Linie = Referenz.

3.2.6 Eversion/Inversion des unteren Sprunggelenks

Innerhalb der terminalen Schwungphase des erkrankten Beines ließ sich ein signifikanter Unterschied bestimmen ($p = .04$), der sich durch eine stärkere Inversionsbewegung charakterisierte. Im Vergleich zum

Prätestwert entfernte sich das Ergebnis hierbei allerdings von der Referenz. Auf der gesunden Seite konnten keine statistisch bedeutsamen Unterschiede vernommen werden.

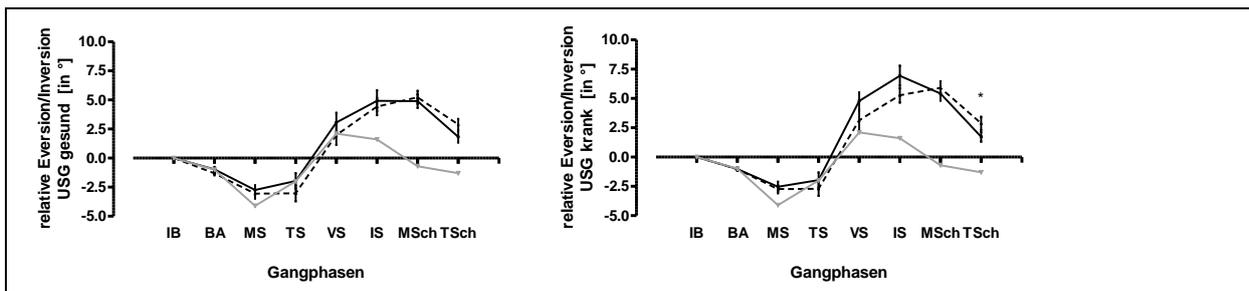


Abbildung 5: Darstellung der relativen Kurvenverläufe der Eversion/Inversion des unteren Sprunggelenks innerhalb des Gangzyklus. Prä-Post-Vergleich der gesunden bzw. kranken Seite. Schwarze Linie = prä/gesund, gestrichelte Linie = post/krank, graue Linie = Referenz.

3.2.7 Varus/Valgus des Kniegelenks

Sowohl auf der erkrankten als auch auf der gesunden Seite ergaben sich keine signifikanten Veränderungen zwischen Prä- und Posttest.

um eine vermehrte Adduktionsbewegung, deren Veränderung auf der gesunden Seite signifikant ($p = .04$; $p = .02$) und auf der erkrankten Seite hochsignifikant ($p = .005$; $p = .008$) war. Auch in diesen Bereichen konnte eine vermehrte Abweichung zu den Referenzwerten beobachtet werden.

3.2.8 Adduktion/Abduktion der Hüfte

Statistisch bedeutsame Unterschiede konnten auf beiden Seiten in der initialen und mittleren Schwungphase aufgezeigt werden. Dabei handelte es sich in allen Fällen

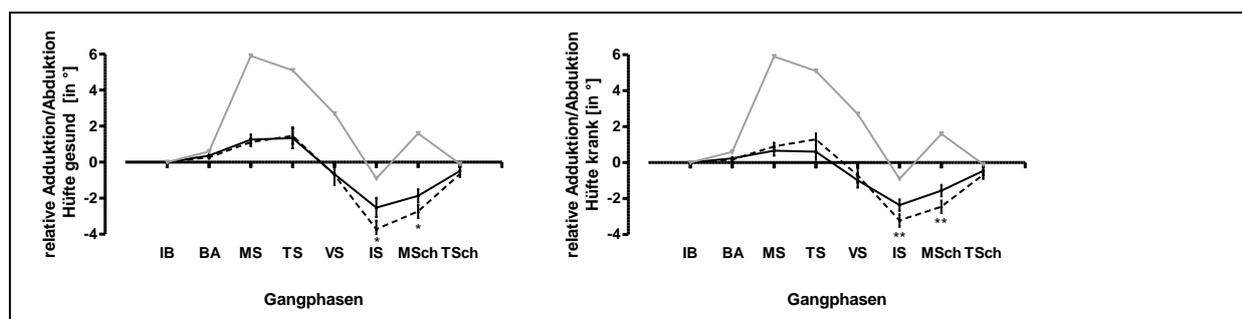


Abbildung 6: Darstellung der relativen Kurvenverläufe der Adduktion/Abduktion der Hüfte innerhalb des Gangzyklus. Oben: Prä-Post-Vergleich der gesunden bzw. kranken Seite. Unten: Vergleich zwischen gesunder und kranker Seite im Prä- bzw. Posttest. Schwarze Linie = prä/gesund, gestrichelte Linie = post/krank, graue Linie = Referenz.

Tabelle 4: Veränderungen der kinematischen Parameter zwischen Prä- und Posttest auf erkrankter und gesunder Seite (n = 17 bzw. 18; p < 0.05*; p < 0.01**)

Gangphasen	BA	MS	TS	VS	IS	MSch	TSch
OSG							
- krank	.15	.93	.04*	.10	.44	.07	.49
- gesund	.05	.20	.43	.11	.08	.65	.43
Knie Flex/Ex							
- krank	.77	.55	.84	.07	.78	.31	.01*
- gesund	.38	.40	.76	.22	.63	.24	.007**
Hüfte Flex/Ex							
- krank	.43	.16	.93	.04*	.09	.65	.28
- gesund	.17	.24	.89	.08	.28	.89	.39
Becken							
- Rotation	.22	.007**	.01*	.09	.12	.34	.03*
- Heben/Senken	.22	.15	.09	.10	.89	.97	.22
USG							
- krank	.88	.68	.24	.12	.06	.43	.04*
- gesund	.21	.52	.12	.22	.59	.48	.12
Knie Varus/Valgus							
- krank	.25	.92	.44	.60	.38	.52	.21
- gesund	.49	.23	.36	.96	.13	.27	.08
Hüfte Add./Abd.							
- krank	.27	.32	.06	.54	.005**	.008**	.34
- gesund	.23	.59	.81	.91	.04*	.02*	.48

Diskussion

Die vorliegende Studie zeigt, dass die konservative Therapie zu signifikanten Veränderungen in verschiedenen kinematischen Größen und Weg-Zeit-Parametern führte und eine tendenzielle Annäherung an den physiologischen Gang stattfand.

Im Gegensatz zu den Resultaten von Fisher et al., die nach einem zweimonatigen rehabilitativen Krafttraining bei Patienten mit Gonarthrose keine signifikanten Veränderungen innerhalb der Gangparameter ermitteln konnten [3], wurden in dieser Untersuchung statistisch bedeutsame Differenzen zwischen dem prä- und posttherapeutischen Test ermittelt. Diese betrafen die Dorsalextension des oberen Sprunggelenks, die Extension des Knie- sowie Hüftgelenks, die Rotation des Beckens, die Inversion des unteren Sprunggelenks und die Adduktion der Hüfte. Während sich die Mehrzahl der veränderten Parameter an die physiologischen Gangmuster des Referenzkollektivs tendenziell angleichen, konnten auch entgegengesetzte Entwicklungen aufgedeckt werden. Davon betroffen

waren die Beckenrotation (nur mittlere Standphase), die Inversion des unteren Sprunggelenks und die Hüftadduktion. In diesem Zusammenhang ist die Aussage der Gruppe um Westhoff interessant, die darauf hinweist, dass insbesondere die Interpretation der kinematischen Daten in der Transversal- und Frontalebene unter Beachtung ihrer geringen Reliabilität vorzunehmen ist [19]. Alle signifikanten Veränderungen, die sich weiter von der Norm distanzieren, wurden entweder in der Transversal- (Beckenrotation) oder Frontalebene (Inversion, Hüftadduktion) gemessen. Ihnen sollte deshalb nicht allzu große Bedeutung zugesprochen werden. Wesentlich zuverlässiger und interessanter sind die Ergebnisse aus der Sagittalebene, die das obere Sprunggelenk sowie das Knie- und Hüftgelenk betreffen. Diese Resultate werden im späteren Text einer detaillierten Interpretation ausgesetzt.

In Übereinstimmung mit bisherigen Studien konnten bei den Patienten mit degenerativen Kniegelenkspathologien

signifikant geringere Gehgeschwindigkeiten als bei den Kontrollpersonen festgestellt werden [8; 13]. Darüber hinaus wurden innerhalb der vorliegenden Untersuchung höchstsignifikante Veränderungen der Spurbreite gemessen. Ihre deutliche Reduzierung im Posttest spricht möglicherweise für ein kontrollierteres Gehen auf dem Laufband. Diente die weitere Spurbreite im Prätest noch der Stabilisierung des Körpergleichgewichts, wurde diese aufgrund einer sichereren Fortbewegung vermindert. Laut Götz-Neumann wird die physiologische Spurbreite von Whittle zwischen 5 - 13 cm angegeben [5]. Angesichts dieser Aussage befanden sich die Patienten sowohl in der ersten als auch während der zweiten Ganganalyse innerhalb der Norm. Die Anpassung an die relativ ungewöhnliche Fortbewegungsart auf dem Laufband, im Gegensatz zum gewöhnlichen Gehen, kann ebenso ein wichtiger Einflussfaktor für die erhöhte mittlere Schrittweite im zweiten Test sein. Des Weiteren trug auch die posttherapeutisch signifikant erhöhte Extensionsstellung des Kniegelenks (sowohl des kranken als auch des gesunden Beines) während der terminalen Schwungphase zu einer größeren mittleren Schrittweite bei [5]. Aufgrund der ausgeprägteren Extension erhielt die Ferse ihren Bodenkontakt etwas weiter vorne, der Schritt vergrößerte sich. Insgesamt näherten sich die mittleren Schrittweiten beider Beine, nicht zuletzt aufgrund der statistisch bedeutsamen Zunahme der kranken Seite, an und unterschieden sich für das menschliche Auge unerkennbar. In diesem Zusammenhang darf die signifikant erhöhte Dorsalextensionsstellung des kranken Beines in der terminalen Standphase nicht unerwähnt bleiben. Sie trug dazu bei, dass der Fuß längeren Bodenkontakt hatte bzw. das Bein eine längere Standphase erhielt und das kontralaterale Bein länger und weiter vorschwingen konnte. Die signifikant erhöhte Hüftextension in der Vor-Schwungphase ist ein Resultat der ausgeprägteren mittleren Schrittlänge. Die längere Schwungphase und der spätere Bodenkontakt erlaubten dem kontralateralen Bein eine vermehrte Streckung des Hüftgelenks. Die kleinen aber dennoch signifikanten Veränderungen der Beckenrotation in der mittleren und terminalen Standphase sind weitere Zeichen der vergrößerten Schrittweite. Das weiter nach vorn gesetzte, kontralaterale Bein zwang das Becken zu einer ausgeprägteren Bewegung nach dorsal. Die Tatsache, dass sowohl für den Prä- als auch für den Posttest keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schrittweiten der gesunden und kranken Extremität aufgedeckt werden konnten, spricht zu beiden Zeitpunkten für ein symmetrisches Gangbild der Patienten. Für die deutliche Differenz der ermittelten mittleren Schrittweiten und den Referenzwerten aus der Untersuchung von Perry kann u.a. die niedrige Gehgeschwindigkeit verantwortlich gemacht werden. Der Einfluss der Geschwindigkeit wird zu einem späteren Zeitpunkt genauer behandelt.

Zusammenfassend können folgende signifikante Veränderungen der kinematischen Parameter im Posttest aufgezählt werden, die entweder für die statistisch bedeutsame Zunahme der Schrittweite verantwortlich gemacht werden können oder aus ihr resultierend entstanden:

- vermehrte Dorsalextension des oberen Sprunggelenks in der terminalen Standphase des kranken Beines,
- erhöhte Knieextension während der terminalen Schwungphase,
- ausgeprägtere Extension des Hüftgelenks innerhalb der Vor-Schwungphase der erkrankten Seite,
- zunehmende Beckenrotation nach dorsal binnen der mittleren und terminalen Standphase.

Die signifikant erhöhte Hüftflexion der kranken Seite in der terminalen Schwungphase des Prätests gegenüber der gesunden könnte laut Perry die Folgeerscheinung einer unangemessenen Plantarflexion des ipsilateralen Fußes innerhalb derselben Gangphase sein [15]. Fraglich ist allerdings, warum die Entwicklung der übermäßigen Hüftbeugung nicht auch auf der kontralateralen Seite zu beobachten ist, da die Bewegungen im oberen Sprunggelenk zwischen gesunder und kranker Seite während der besagten Gangphase kaum Differenzen aufwiesen.

Welche trainingstherapeutischen Maßnahmen für die signifikanten Veränderungen und erfolgreiche Annäherung an ein physiologisches Gangbild verantwortlich gemacht werden können, wird im weiteren Abschnitt erläutert. Durch den Einsatz der Beinpresse wurden sowohl der M. quadriceps femoris als auch der M. gluteus maximus und die ischiocrurale Muskulatur gestärkt. Außerdem wirkte die Übungsausführung am Beinstrecker auf die Kräftigung des Quadrizepsmuskels ein. Das isokinetische Training der Knieextensoren und – flexoren verbesserte die intermuskuläre Koordination und die Kraftausdauer. Sensomotorische Übungen an Seilzügen (z.T. in Verbindung mit dem Airex Balance Pad®) und dem Posturomed schulten die Propriozeption, das Gleichgewicht, die Reaktionsfähigkeit und die Bewegungsqualität [4]. Der positive Effekt der kniespezifischen Therapie zeigte sich in einer beidseitig signifikanten Verbesserung der Knieextension in der terminalen Schwungphase. Kaufman et al. prognostizierten bereits, dass eine effektive konservative Therapiemaßnahme bei Gonarthrose in einer Schmerzreduktion und zunehmender Kniegelenkextension resultieren würde. In ihrer ganganalytischen Untersuchung an 139 Gonarthrosepatienten stellten sie im Vergleich zur Referenzgruppe eine signifikant reduzierte Extension des Kniegelenks fest und führten dieses auf eine Strategie zur Schmerzvermeidung zurück [8]. Prätherapeutische

Schmerzen, die in der ersten Untersuchung eventuell mit Ausweichbewegungen möglichst vermieden wurden, konnten unter Umständen nach der therapeutischen Intervention teilweise abgelegt werden. Für die niedrigere Signifikanz der Extensionsveränderung des kranken Beines kann gegebenenfalls die Erklärung von Berth und Mitarbeitern für Aufklärung sorgen. Die Autoren beschrieben bei Gonarthrosepatienten die Ausprägung von motorischen und propriozeptiven Defiziten, welche sich in Innervationsänderungen der Quadrizepsmuskulatur äußerten [2]. Diese als arthrogene muskuläre Inhibition (AMI) definierte Störung charakterisiert sich durch die Unfähigkeit der vollständigen willkürlichen Aktivierung aller motorischen Einheiten und in der Schwäche des betroffenen Muskels. Die Studie beweist, dass die durchgeführte kniespezifische Intervention eine tendenzielle Annäherung verschiedener Parameter an den physiologischen Gang bewirkt hat und die Patienten sowohl prä- als auch posttherapeutisch einen annähernd symmetrischen Gang aufwiesen. Der im Prätest noch signifikante Seitenunterschied der Varus-/Valgusstellung des Kniegelenks während der initialen Standphase konnte nach der Therapie nicht mehr nachgewiesen werden. Die Bewegung des erkrankten und im Fokus der Therapie stehenden Kniegelenks passte sich der gesunden Seite an und sorgte damit für ein symmetrischeres Gangbild. Insgesamt unterschied sich die erkrankte kaum von der gesunden unteren Extremität. Der Grund dafür kann in der Tatsache liegen, dass bei vielen Patienten eine beidseits degenerative Kniegelenkspathologie diagnostiziert wurde, die gleichermaßen Einfluss auf den Gang nahm. Innerhalb der medizinischen Trainingstherapie wurde allerdings zunächst nur eines der Kniegelenke (meist das stärker betroffene) in den Fokus der Behandlung gestellt. Dass es im Posttest dennoch (mit einer Ausnahme) zu keinen Abweichungen zwischen beiden Seiten kam, kann vielleicht mit der stark verinnerlichten Automatisierung des erlernten Gangbildes erklärt werden. Gangmuster, die sich aufgrund von Beschwerden mehrere Wochen oder Monate entwickelt haben und tagtäglich 'geübt' wurden, können mit Hilfe einer 17-wöchigen medizinischen Trainingstherapie nicht von heute auf morgen abgelegt werden. Möglicherweise ergeben sich in Abhängigkeit von der Kontinuität der Rehabilitation weitere Verbesserungen.

Neben der kniespezifischen Trainingstherapie sollte auch die Gewichtsreduktion einen Bestandteil der konservativen Maßnahme bei degenerativen Kniegelenkspathologien bilden. Schünke gibt an, dass die Belastung im Femurotibialgelenk beim zweibeinigen Stand circa 43% des Körpergewichts beträgt. Während des Standes auf einem Bein addiert sie sich sogar etwa auf das doppelte Körpergewicht [16]. Angesichts des deutlich erhöhten Body Mass Index von $29,16 \pm 5,97$ bei den Männern und $30,51 \pm 5,81$ bei den Frauen weisen beide Geschlechter im Durchschnitt deutliches Übergewicht bzw. eine Adipositas auf. Mit einer Abnahme des Körpergewichts wäre aufgrund der geringeren Belastung im Femurotibialgelenk auch eine Schmerzlinderung sehr wahrscheinlich. Dieser Meinung

schließen sich Perka et al. an und resümieren, dass ein Zusammenhang zwischen erhöhter mechanischer Belastung (aufgrund von Übergewicht) und dem Risiko für das Auftreten degenerativer Veränderungen besteht [14].

Der nachfolgende Absatz soll der allgemeinen Problematik der instrumentellen Ganganalyse auf dem Laufband gewidmet werden. Vogt und Banzer (2005) weisen darauf hin, dass unter den Laborbedingungen der instrumentellen Ganganalyse mit Abweichungen vom alltagstypischen Fortbewegungsmuster gerechnet werden muss. Die Ursachen dafür liegen ihrer Meinung nach u.a. in physischen (Geräte, Kabel etc.) und psychophysischen (Untersuchungs-/Testsituation) Störeinflüssen sowie der Körpergröße und Beinlänge [18]. Der Meinung beider Autoren muss zugestimmt werden, zieht man die Tatsache in Betracht, dass aufgrund störender Verbindungskabel und Markerketten insbesondere der Armschwung derart eingeschränkt wurde, dass auf die Auswertung der Parameter des Schultergelenks verzichtet werden musste. Trotz der abweichenden Eigenschaften des Laufbandes vom gewöhnlich festen Bodenuntergrund, beinhaltet das Gerät dennoch den großen Vorteil der Regulierung und Kontrolle der Gehgeschwindigkeit. Besondere Beachtung muss dem linearen Zusammenhang zwischen einer Vielzahl von Gangparametern und der Fortbewegungsgeschwindigkeit geschenkt werden. Hegewald bezeichnet die Gehgeschwindigkeit u.a. aufgrund dessen als eine zentrale Größe der Ganganalyse. Seiner Meinung nach zeichnet sich die frei gewählte Geschwindigkeit als ein grundlegender Parameter zur Beurteilung der Gangqualität aus ohne dessen Angabe die Interpretation der Parameter nur bedingt aussagefähig ist [6]. In dieser Studie wurde seine Forderung nach einer identischen Geschwindigkeit im prä- und posttherapeutischen Untersuchungsablauf erfüllt. Bei den durchgeführten Prä-Post-Vergleichen fand die Einstellung der individuellen Gehgeschwindigkeit entscheidende Berücksichtigung. Aufgrund großer individueller Unterschiede war es allerdings nicht möglich für alle Patienten eine einheitliche Ganggeschwindigkeit festzulegen. Die Tatsache, dass die Fortbewegungsgeschwindigkeit der untersuchten Patienten zwischen 1,6 km/h und 4,5 km/h variiert, macht einen Gruppenvergleich zwischen Prä- und Posttest deshalb nicht unproblematisch. Darüber hinaus sollten die Ergebnisse in Anbetracht des relativ kleinen Untersuchungskollektivs ($n = 18$) keiner Verallgemeinerung unterzogen werden. Motivationale sowie Testwiederholungs-Effekte können ggf. weitere Störfaktoren darstellen. Das Wissen über die trainingstherapeutische Kontrolluntersuchung spornt die Patienten unter Umständen an, sich besonders stark anzustrengen, um im Vergleich zum Prätest ein besseres Resultat zu erzielen. Darüber hinaus verfügen die Patienten bereits über Kenntnisse des Untersuchungsablaufes und weisen Erfahrungen auf dem Laufband auf. Neun der 18 Patienten nutzten im Rahmen der Therapie auch das Laufbandergometer, unterdessen bewegte sich die andere Hälfte des Untersuchungskollektivs lediglich während der

Ganganalyse auf dem Gerät. Mehrere Autoren nennen die Problematik der Weichteilverschiebung (unabhängig von den Gelenkbewegungen) bei kinematischen Verfahren mit externen Markern und die daraus resultierende Ungenauigkeit der Messung [11; 15; 19]. Die Markerposition auf der Haut wird so gewählt, dass sich Rückschlüsse auf die darunter liegenden knöchernen Strukturen ergeben sollen. Bedingt durch die Dynamik der Bewegung (Bewegung der Sehnen, Kontraktion der Muskulatur) kann es jedoch in Abhängigkeit von Lage des Markers und Dicke der Gewebsschicht zu einer Verschiebung der Weichteile über dem Knochen kommen. In einer vergleichenden Untersuchung zwischen Haut- und Knochenmarkern wurde das Ausmaß dieser Fehlerquelle quantifiziert. Die Ergebnisse zeigen, „dass die kinematischen Daten von Hautmarkern zu einem gewissen Grad (individuell unterschiedlich) fehlerhaft sein können, die so ermittelten Trends aber durchaus vergleichbar sind“ [11]. Laut Perry führt auch Fettleibigkeit zu einer verminderten Genauigkeit der Bewegungsanalyse, da diese das Verbergen knöcherner Vorsprünge verursacht [15]. Westhoff und Mitarbeiter fassen dennoch zusammen, dass die Ergebnisse der instrumentellen Ganganalyse aufgrund ihres hohen Reliabilitätslevels sowohl für die Diagnostik als auch für Kontrolluntersuchungen nach konservativen Maßnahmen hervorragend geeignet sind [19].

Die dreidimensionale Ganganalyse findet zunehmende Verbreitung in der Diagnostik und Erfolgskontrolle therapeutischer Maßnahmen bei Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates [12; 19]. Sie ist zwar nicht in der Lage die Ursachen einer Pathologie aufzudecken, dennoch besteht mit ihrer Hilfe die Möglichkeit, das Ausmaß, den Zeitpunkt und die phasische Relation des unphysiologischen Gangbildes zu beschreiben [15; LUKOtronic]. Die ermittelten Daten können darüber hinaus zur gezielten Unterstützung therapeutischer Maßnahmen, zur Beurteilung des Therapieeffektes und für die Dokumentation der individuellen Veränderungen im Rehabilitationsverlauf

herangezogen werden [8]. Trotzdem gibt es kaum biomechanische Untersuchungen zur Analyse des prä- und posttherapeutischen Ganges von Patienten mit degenerativen Kniegelenkspathologien. Die kinematische Ganganalyse ist zwar eine zeit- und arbeitsaufwendige Methode, die eine gute Zusammenarbeit zwischen Patient und Untersucher erfordert, dennoch sollte sie in Untersuchungen zukünftig größere Anwendung finden. Insgesamt stellen Ergebnisse ganganalytischer Messungen einen wichtigen Teilaspekt der Beurteilung von prä- und posttherapeutischen Therapieeffekten dar, sie besitzen jedoch als alleiniger Parameter eine begrenzte Aussagekraft und können deshalb nur in engem Zusammenhang mit anderen diagnostischen Parametern der Kniegelenkfunktion richtig eingeordnet werden. Für den Patienten, der vordergründig seine Schmerzen und die Einschränkungen im Alltag erfährt, ist neben einem physiologisch angeglichenen Gangbild allerdings auch posttherapeutische Schmerzfreiheit entscheidend. Für zukünftige Studien wäre eine Untersuchung der Korrelation zwischen kinematischen Veränderungen der Gangparameter und subjektiv auftretender Schmerzen von Interesse. Vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung und einer altersassoziierten Zunahme degenerativer Gelenkerkrankungen formulieren Merx et al. die Erwartung eines steigenden Behandlungsbedarfs innerhalb der kommenden Jahrzehnte. Gleichzeitig weisen sie hinsichtlich der hohen Krankheitskosten auf enorme sozialmedizinische Konsequenzen hin. In Anbetracht dessen sind groß angelegte prospektive Längsschnittuntersuchungen erforderlich, um signifikante Therapieeffekte aufzudecken und entsprechende Rehabilitation durchführen zu können [10; 12]. Die Forderung nach ganganalytisch untersuchten Einflüssen von rehabilitativen Maßnahmen bei Gonarthrosepatienten teilt auch die Gruppe um Ornetti [12]. Sie sehen als zukünftige Herausforderung außerdem die Erkenntnis darüber, wie die ganganalytischen Messdaten eingesetzt werden müssen, damit sie von klinischem Nutzen sind.

Literatur

- Amelung, P. & Seidel, W. (2005). Die instrumentierte Ganganalyse im Rahmen eines manualmedizinisch orientierten Diagnostik- und Therapiesettings im Krankenhaus bei Patienten mit Schmerzerkrankungen des Bewegungssystems. *Manuelle Medizin*, 43, 404-413.
- Berth, A., Urbach, D., Becker, R. & Awiszus, F. (2002). Ganganalyse bei Varusgonarthrosepatienten vor und nach unilateraler Knieendoprothesenimplantation. *Zentralblatt für Chirurgie*, 127, 868-872.
- Fisher, N. M., White, S. C., Yack, H. J., Smolinski, R. J. & Pendergast, D. R. (1997). Muscle function and gait in patients with knee osteoarthritis before and after muscle rehabilitation. *Disability & Rehabilitation*, 19(2), 47-55.
- Froböse, I., Nellessen, G., Verdonck, A. (1998). Einsatz isokinetischer Geräte in der Therapie. In I. Froböse, G. Nellessen, C. Wilke (Hrsg.), *Training in der Therapie. Grundlagen und Praxis* (S. 81-100). München, Jena: Urban & Fischer (2003).
- Götz-Neumann, K. (2003). *Gehen verstehen. Ganganalyse in der Physiotherapie* (2., unveränd. Aufl.). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag (2006).
- Hegewald, G. (2009, 17. September). *Die Ganggeschwindigkeit – eine zentrale Größe in der Ganganalyse*. Zugriff am 06. Mai 2010 unter http://www.medilogic.de/fileadmin/PDF/Hegewald_Die_Ganggeschwindigkeit_als.pdf
- Jöllnbeck, T. (2003). Die Stellung der Biomechanik in der orthopädisch-traumatologischen Rehabilitation. *dvs-Information*, 18(1), 13-17.
- Kaufman, K.R., Hughes, C., Morrey, B.F., Morrey, M. & An, K.-N. (2001). Gait characteristics of patients with knee osteoarthritis. *Journal of Biomechanics*, 34, 907-915.
- Lützner, H.J., Kirschner, S. & Günther, K.-P. (2006). Epidemiologie und Diagnostik der Gonarthrose. *OP-JOURNAL*, 22(3), 142-147.
- Merx, H., Dreinhöfer, K. E., & Günther, K.-P. (2007). Sozialmedizinische Bedeutung der Arthrose in Deutschland. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 145(4), 421-429.
- Mittlmeier, T. & Rosenbaum, D. (2005). Klinische Ganganalyse. *Der Unfallchirurg*, 108, 614-629.
- Ornetti, P., Maillefert, J.-F., Laroche, D., Morisset, C., Dougados, M. & Gossec, L. (2010). *Gait analysis as a*

- quantifiable outcome measure in hip or knee osteoarthritis: A systematic review. *Joint Bone Spine*. Zur Veröffentlichung eingereicht.
14. Pap, G., Machner, A. & Awiszus, F. (2000). Funktionelle Veränderungen des Quadriceps Femoris Muskels bei Patienten mit Varusgonarthrose. *Zeitschrift für Rheumatologie*, 59, 380-387.
 15. Perka, C., Möckel, G. & Boenick, U. (2000). Kinetische und kinematische Ganganalyse vor und nach Knie totalendoprothesenimplantation. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, 138(3), 191-196
 16. Perry, J. (2003). *Ganganalyse. Norm und Pathologie des Gehens*. München, Jena: Urban & Fischer.
 17. Schünke, M. (2000). *Funktionelle Anatomie. Topographie und Funktion des Bewegungssystems*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
 18. Spahn, G. (2006). Knorpelschaden und Gonarthrose. Teil II: Epidemiologie und Diagnostik von chondralen Schäden und der Gonarthrose. *Aktuelle Traumatologie*, 36(6), 259-271.
 19. Vogt, L. & Banzer, W. (2005). Instrumentelle Ganganalyse. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56(4), 108-109.
 20. Westhoff, B., Hirsch, M. A., Hefter, H., Wild, A. & Krauspe, R. (2004). Wie reliabel sind Informationen aus der 3D-Ganganalyse. *Sportverletzung. Sportschaden*, 18, 76-79.

Korrespondenzadresse: Juliane Sauer, MSc
Universität Leipzig
Institut für Sportmedizin und Prävention
Marschner Str. 29a
04109 Leipzig

juliane.sauer@uni-leipzig.de