

M. Ruhleder, Ch. Segieth, L. Vogt, W. Banzer

Elektromyographische Untersuchung lumbopelvikaler Muskeln zur Bewertung eines isometrischen Krafttests – Erste Ergebnisse

Electromyographic analysis of lumbopelvic muscles for the evaluation of an isometric strength test – Preliminary results

Abteilung Sportmedizin, Institut für Sportwissenschaften, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main

Zusammenfassung

Problemstellung: Zur Erfassung der Kraft von hüftumgreifenden Muskelgruppen und zur Objektivierung des Rehabilitationsverlaufs nach Hüftgelenksimplantation wird zunehmend versucht objektive Untersuchungsverfahren in die klinische Praxis zu implementieren. Gegenstand der vorliegenden Experimentalstudie war die oberflächenelektromyographische Ermittlung des Aktivierungsverhaltens ausgewählter lumbopelvikaler Muskelgruppen bei der von *Stutz und Schreiber* (19) beschriebenen Lateralflexion und die gleichzeitige Überprüfung des Hauptgütekriteriums Reliabilität. **Methoden:** 11 gesunde Probanden (Alter $26,7 \pm 3,0$ Jahre; $m = 4$, $w = 7$) absolvierten drei maximale unilaterale isometrische Kontraktionen in der Lateralflexion. Während der Lateralflexion wurden die Probanden angewiesen ihr Becken in der Frontalebene zu rotieren, um eine Annäherung von crista iliaca und unterem Rippenbogen zu erzielen. Mit einer Abtastrate von 1000Hz/Kanal wurden die isometrische Maximalkraft und die bilateralen Oberflächen EMG des M. gluteus medius und des M. erector spinae (L3) synchron aufgezeichnet. Die Oberflächenelektromyogramme wurden amplitudennormiert. Die Test-Retest Messungen erfolgten innerhalb einer Elektrodenklebung (1Std Intervall). **Ergebnisse:** Die Ergebnisse der Testwiederholungsmessungen zeigten einen hohen linearen Zusammenhang ($r = 0,78$ und $0,97$; $p < 0,05$) zwischen den Kraftwerten beider Lateralflexionsmessungen. Das Wiederholbarkeitskriterium nach *Bland u. Altmann* (1) gilt für den untersuchten Kraftparameter als erfüllt. Während der Lateralflexion konnte eine im Vergleich zum M. erector spinae deutlich höhere Aktivität des M. gluteus medius beobachtet werden. **Diskussion:** Die isometrische Kraftmessung während der Lateralflexion gestattet die Testung der im Gehen sichernden und in der Rehabilitation von Hüftpatienten, als wesentlich erachteten, lateralen Glutealmuskulatur.

Schlüsselwörter: Reliabilität, Elektromyographie, Isometrische Kraftmessung

Einleitung und Problemstellung

In der postoperativen Rehabilitation hüfttotalendoprothetisch versorgter Patienten steht neben der Auflösung myogener Kontrakturen die Behandlung muskulärer Insuffizienzen im Bereich der hüftgelenkumgebenden Muskulatur im Vordergrund. Diese gezielte Verbesserung des muskulären

Summary

Objective: Efforts have been made to implement objective methods into clinical practice to evaluate the strength of hip surrounding muscles and to examine the effects of rehabilitation measures following implantation of hip endoprostheses. The purpose of this study was to evaluate the test-retest reliability of SEMG activity of selected lumbopelvic muscles during the lateral flexion maneuver, which has been described by *Stutz and Schreiber* (19). **Methods:** 11 healthy subjects (age 26.7 ± 3.0 years; $f=7$, $m=4$) performed three maximal isometric contractions in the lateral flexion position. During the lateralflexion maneuver the subjects were instructed to rotate their pelvis in the frontal plane in order to reduce the distance between the iliac crest and the rib cage. Maximal isometric strength and bilateral SEMG activity of the gluteus medius and the erector spinae muscles were recorded simultaneously with 1000Hz/channel. Subsequently the SEMG were amplitude-normalised. All test-retest measurements were performed within one electrode application (1h interval). **Results:** The test-retest results indicated almost comparable isometric strength values ($r = 0.78$ to 0.97 ; $p < 0.05$). The method recommended by *Bland and Altman* (1) demonstrated a sufficient level of agreement between repeated measurements. In relation to the erector spinae muscle a higher activity of the gluteus medius muscle could be observed during the lateral flexion.

Discussion: Lateral flexion strength measurement could be used for the testing of the lateral gluteal muscle, a muscle group stabilising the pelvis in the frontal plane during gait and considered essential in hip arthroplasty patients.

Key words: Reliability, electromyography, isometric strength testing

Status der Hüftrotatoren und -abduktoren dient der Reduktion von Schonhaltungen und der Vermeidung des damit verbundenen Entlastungshinken, welches sich in Abhängigkeit vom Schweregrad der präoperativen Affektion zeigt (12). Wenngleich bei hüftendoprothetisch versorgten Rehabilitanden kein linearer Zusammenhang zwischen der Verbesserung der isokinetisch gemessenen Hüftabduktorenkraft und klini-

schen Parametern (Trendelenburgzeichen, Hinken, Beinlängendifferenz) nachzuweisen war (7), wird davon ausgegangen, dass ohne ein ausreichendes Kraftniveau rumpf- und beckenstabilisierender Muskelgruppen die Voraussetzungen für ein flüssiges Gangbild nicht optimal gegeben sind (12). Die Relevanz der lumbalen Rückenstrecker zur Stabilisierung der Lendenbeckenhüftregion konnte bereits in zahlreichen Untersuchungen belegt werden (3). Hinweise für die gangbildbestimmende Bedeutsamkeit der Hüftabduktionsmuskulatur werden ebenfalls in der Literatur beschrieben (12). Die Abduktoren (*M. gluteus medius*, *M. gluteus minimus*) sind vor allem während der Standphase aktiv und verhindern ein Abkippen des Beckens auf der kontralateralen Seite (14).

Zur objektiven und zuverlässigen Erfassung relevanter Kraftkomponenten sowie zur Effektivitätsüberprüfung spezifischer Therapiestrategien werden neben isokinetischen Kraft-, bzw. Drehmomentmessungen (4) ebenfalls einfache und oftmals portable Messsysteme eingesetzt (2, 11, 15, 18, 20). Zur klinischen Erfassung des muskulären Status einzelner rumpf- und beckenstabilisierender Muskeln wurde von *Stutz und Schreiber* (17, 19) ein unter Aspekten des Zeit-, Material- und Personalaufwandes ökonomisches funktionsorientiertes Testverfahren vorgestellt. Hierbei handelt es sich um eine isometrische Kraftmessung im Liegen, bei der die Testpersonen eine Lateralflexion des Rumpfes in der Frontalebene, charakterisiert durch eine links- bzw. rechtskonkave Krümmung der LWS, ausführen (8). Wenngleich mit diesem isometrischen Krafttest bereits erste prä- und postoperative Kraftwerte hüftendoprothetisch versorgter Patienten erfasst wurden, liegt weder eine Prüfung der Testgütekriterien vor, noch findet man Aussagen zum Aktivierungsverhalten der beteiligten Muskeln.

Ziel der vorliegenden Arbeit war, einen in der klinischen Anwendung bereits beschriebenen funktionsorientierten Krafttest zur Beurteilung der hüftgelenkumgebenden Muskulatur elektromyographisch zu untersuchen und die Test-Retest Reliabilität dieses Testverfahrens zu bestimmen. Neben dem Grad der muskulären Aktivierung des *M. gluteus medius* und des lumbalen Anteils des *M. erector spinae*, wurde die Reproduzierbarkeit der bei dieser Testbewegung ermittelten Kraftwerte und Oberflächenelektromyogramme bei Wiederholungsmessungen bestimmt (6).

Material und Methoden

An der Untersuchung nahmen 11 Probanden im Alter zwischen 22 und 32 Jahren ($m = 4$, $w = 7$; $175,4 \pm 5,4$ cm; $70,7 \pm 7,0$ kg) ohne akute oder chronische Erkrankungen der Wirbelsäule und/oder der unteren Extremität teil. Die bipolaren Ableitungen der Oberflächenelektromyogramme des *M. gluteus medius* und des *M. erector spinae* (lumbal) erfolgten bilateral mit einem portablen 16-Kanal-EMG System (BIOVISION® Wehrheim/Germany) bei einer Abtastfrequenz von 1000 Hz/Kanal. Die einzelnen Ableitstellen wurden gemäß internationaler Standards (5) ausgewählt und vorbereitet. Die Oberflächenelektroden (Ag/AgCl, Blue Sensor, N-00-S, Medicotest GmbH, Andernach/Germany) wurden mit

einem Interelektrodenabstand von 2 cm longitudinal des Faserverlaufs appliziert. Die Referenzelektrode wurde über der *Spinae iliaca posterior superior* angebracht. Zur Vermeidung von Bewegungsartefakten wurden die Elektrodenkabel gegen Verrutschen gesichert (16).

Zur Ermittlung der relativen Aktivierungshöhe des *M. gluteus medius* und des lumbalen *M. erector spinae* während der Lateralflexion absolvierten die Probanden vor Beginn der eigentlichen Messungen in der jeweiligen Hauptfunktionsrichtung der untersuchten Muskeln drei 5-sekündige maximale Willkürkontraktionen (MVC). Synchron zur Aufzeichnung der Oberflächenelektromyogramme wurden die dabei produzierten Kraftsignale mittels eines elektronischen Kraftaufnehmers (DMS-Prinzip, BIOVISION® Wehrheim/Germany) bei einer Abtastrate von 1000Hz/Kanal erfasst.

MVC-Referenzmessung

Isometrische Maximalkraft und myoelektrische Aktivität der lumbalen Rückenstrecker wurden in Anlehnung an Aktivierungsstudien von *McGill* (10) in der horizontalen Freihalte des Oberkörpers bei gleichzeitiger Neutral-Nullstellung des Beckens ermittelt. Die Arme wurden vor der Brust verschränkt und der Oberkörper aus der Neutral-Nullstellung gegen einen unüberwindlichen Widerstand extendiert, wobei die Beine zusätzlich durch eine Zuggurtung fixiert waren. Der Kraftaufnehmer war über eine Zuggurtung senkrecht mit dem Rumpf verbunden und die Gurtschlaufe auf Höhe Th 6 positioniert.

Die ebenfalls zur anschließenden MVC-Normierung bestimmten Elektromyogramme des *M. gluteus medius* wurden im Liegen durch Abduktionsbewegungen der Beine aus der Neutral-Nullstellung der Hüfte gegen unüberwindlichen Widerstand registriert. Die kontralaterale Testextremität wurde im Hüft- und Kniegelenk jeweils 90° flektiert gelagert. Ebenso befand sich am Trochanter major eine Widerlagerung; die Arme wurden auf der Brust verschränkt. Der Kraftaufnehmer, der über eine Zuggurtung mit dem zu testenden Bein verbunden wurde, war kontralateral ausgerichtet, die Gurtschlaufe proximal des Kniegelenkes auf der zu testenden Seite positioniert (15). Alle MVC-Messungen wurden in randomisierter Reihenfolge absolviert. Zur späteren MVC-Normierung der EMG Amplituden wurden die Messungen mit der höchsten Maximalkraft herangezogen. Bezogen auf die Kraftkurve, erfolgte die Berechnung der mittleren Amplitudenhöhe über ein Fenster von tausend Datenpunkten um den höchsten Maximalkraftwert.

Lateralflexionsmessung

Zur eigentlichen Untersuchung des muskulären Aktivierungsverhaltens beider Muskelgruppen während der Lateralflexion in Rückenlage führten die Probanden drei maximal willkürliche Kontraktionen durch. Die Messungen erfolgten unilateral, wobei alle Messungen eines Teilnehmers randomisiert entweder mit der rechten oder linken Extremität absolviert wurden. Zur Durchführung der Lateralflexionsbewegung wurden die Probanden instruiert aus der Neutral-Null-

stellung des Beckens ihren Beckenkamm dem unteren Rippenbogen anzunähern. Vor Beginn jeder Messung hatten die Probanden Gelegenheit, die Durchführung der Kontraktionsbewegung zu üben. Während der Lateralflexionsmessungen waren die Arme vor der Brust verschränkt. Die Pausen zwischen den Kontraktionsversuchen betragen jeweils drei Minuten. Während der Anspannungen wurden die Versuchspersonen ermuntert, ihr tatsächliches Maximum zu leisten. Isometrische Maximalkraft und Oberflächen-EMG wurden im Verlauf der Lateralflexionsbewegungen synchron aufgezeichnet. Der Kraftaufnehmer wurde entsprechend des skizzierten Messaufbaus (Abb. 1) proximal des oberen Sprunggelenks in einer Manschette fixiert und in

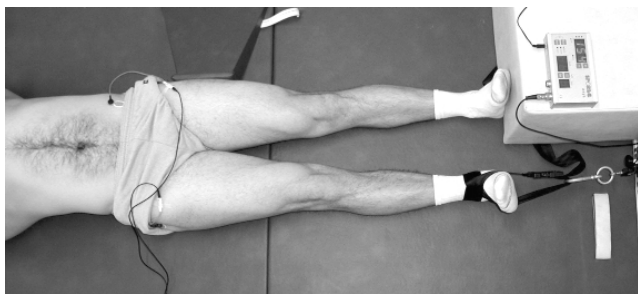


Abbildung 1: Messaufbau und Körperposition zur Durchführung der Lateralflexionsbewegung

Verlängerung des Unterschenkels ausgerichtet. Zur Positionierung der Probanden dienten distal des Trochanter major, sowie am kontralateralen Fußende angebrachte Widerlager.

Die Kraft-Zeit-Kurven und die Oberflächen-EMG beider Muskelgruppen wurden im Verlauf der Kontraktionen für die Dauer von 5 Sekunden aufgezeichnet. Der weiteren Datenverarbeitung wurden nach optischer Kontrolle der Roh-EMG ausschließlich artefaktfreie Signale zugeführt. Lediglich die EMG der Lateralflexionsmessung mit den höchsten Kraftwerten wurden analysiert.

Zur Ermittlung der durchschnittlichen elektrischen Aktivität wurde pro Versuchsperson, die mit Erreichen der Maximalkraft (Plateau der Kraftkurve) produzierte mittlere EMG-Aktivität über ein Fenster von tausend Datenpunkten bestimmt. In Anlehnung an Yang et al. (22) erfolgte im Anschluss die Amplitudennormalisierung an der zuvor während maximaler Willkürkontraktionen (MVC) ermittelten EMG Aktivität. Die relative Aktivierungshöhe im Gruppenmittel wurde anhand der arithmetischen Mittelwerte der amplitudennormierten EMG aller Probanden pro Messreihe bestimmt. Zur Beurteilung der Reproduzierbarkeit des identifizierten

Aktivierungsniveaus der beobachteten Muskeln wurden bei verbleibender Elektrodenklebung (Konstanthaltung der Anzahl aktiver motorischer Einheiten in der Ableitregion) im Abstand von ca. 1 Stunde wiederholt drei Messungen der Lateralflexion durchgeführt.

Statistische Verfahren

Zur Bestimmung der Test-Retest Reliabilität des untersuchten Testverfahrens wurden verschiedene statistische Kennwerte bestimmt. Lineare Zusammenhänge zwischen den Messzeitpunkten wurden sowohl für die Kraftmaxima, als auch für die amplitudennormierten EMG mittels Berechnung des Pearson Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten bestimmt. Das Signifikanzniveau wurde auf kleiner 5% angesetzt. Ferner wurde als weiteres Maß für die Reproduzierbarkeit der isometrischen Kontraktionskräfte das Wiederholbarkeitskriterium nach Bland u. Altman (1) bestimmt. Dieses besagt, dass eine Wiederholbarkeit der Messmethode nur dann gegeben ist, wenn 95% der Messwertdifferenzen zweier Messungen innerhalb der berechneten doppelten Standardabweichung um den Mittelwert dieser Differenzen sämtlicher Individualmesswerte liegen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Testwiederholungsmessung zeigten einen hohen linearen Zusammenhang ($p < 0.05$) zwischen den Kraftwerten beider Lateralflexionsmessungen (Tab. 1). Die ermittelten Differenzwerte zwischen Erst- und Zweitmes-

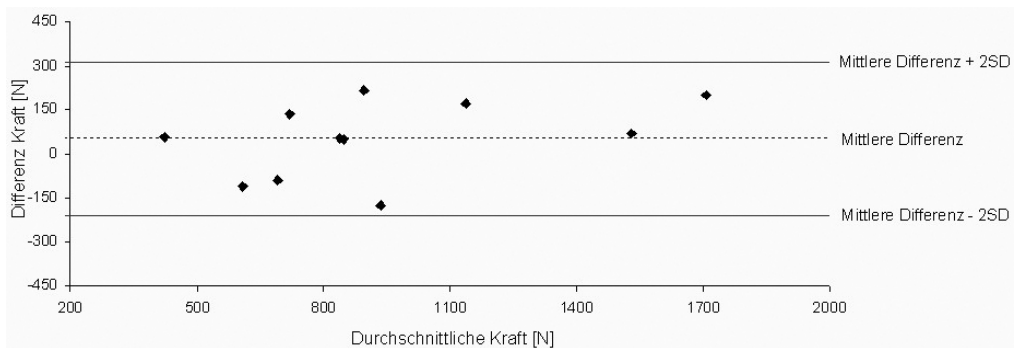


Abbildung 2: Maximale Lateralflexionskraft: Wiederholbarkeitskriterium nach Bland u. Altman (1), gilt als erfüllt, wenn 95% der Messwertdifferenzen zweier Messungen innerhalb der berechneten doppelten Standardabweichung um den Mittelwert der Differenzen sämtlicher Versuchspersonen liegen.

sung reichten von 47.1 N bis 217.7 N. Das Wiederholbarkeitskriterium nach Bland u. Altman (1) gilt für den untersuchten Kraftparameter als erfüllt (Abb. 2).

Anhand der errechneten Pearson Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten zeigten sich mittlere bis hohe lineare Zusammenhänge zwischen den amplitudennormierten EMG der Erst- und Zweitmessung ($p < 0.05$) (Tab. 1). In Relation zur jeweiligen Maximalaktivierung konnte während der "Lateralflexionsbewegung" eine im Vergleich zum M. erector spinae deutlich höhere Aktivität des M. gluteus medius beobachtet werden (Tab. 1).

Tabelle 1: Test-Retest Ergebnisse (Rel. Muskelaktivität, Kraft, 95%CI der Differenz, Pearson Korrelation).

			MW±SD	95%CI der Differenz	Korrelation (r) (p<0.01)
Relative Muskelaktivität [%MVC]	M. erect spin (ipsilateral)	A	25.3±22.8	-7.2 bis 6.3	0.91
		B	25.7±24.9		
	M. erect spin (kontralateral)	A	11.7±9.3	-1.6 bis 3.7	0.91
		B	10.6±9.8		
M. glut med (ipsilateral)	A	11.6±10.7	-1.9 bis 2.1	0.97	
	B	11.5±12.3			
M. glut med (kontralateral)	A	72.9±23.6	-6.9 bis 14.4	0.76	
	B	69.1±22.6			
Kraft [N]	MVC Lateralflexion	A	914.1±362.3	-139.7 bis 34.9	0.95
		B	966.5±416.3		

Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war, einen in der klinischen Anwendung bereits beschriebenen funktionsorientierten Krafttest beckenstabilisierender Muskeln elektromyographisch zu untersuchen und das Hauptgütekriterium Reliabilität im Rahmen einer Test-Retest Studie zu überprüfen.

Aus methodischer Sicht ist anzumerken, dass die Reliabilität in der vorliegenden Studie mit Hilfe mehrerer Maße abgesichert wurde. Zusätzlich zu dem meist nur erhobenen Korrelationskoeffizienten wurden die mittleren Differenzen betrachtet. Der Test-Retest Korrelationskoeffizient zeigt auf hohem Signifikanzniveau, dass die Messung des in Summe produzierten isometrischen Kraftwerts während der Lateralflexionsbewegung in ihrer standardisierten Form bei Wiederholungsmessungen einen hohen Übereinstimmungsgrad besitzt. Das Wiederholbarkeitskriterium nach *Bland u. Altman* (1) gilt für den untersuchten Kraftparameter ebenfalls als erfüllt, so dass das Testgütekriterium Reliabilität als hinreichend erfüllt gelten kann. Demzufolge kann mit dem untersuchten Messsystem die auch für Maximalkraftmessungen in anderen Messpositionen bereits beschriebene Reproduzierbarkeit (9, 15) erreicht werden.

Die Registrierung der EMG-Aktivität eines Muskels während der Übungsdurchführung lässt u.a. Rückschlüsse auf die Intensität der Muskelkontraktion und damit indirekt auf die Effektivität der Übung zu. Die deutlich höhere relative EMG Aktivität des kontralateralen M. gluteus medius im Vergleich zur MVC normierten Rückenstreckeraktivität deutet auf den großen Anteil der lateralen Glutealmuskulatur bei der Realisation der Gesamtbewegung hin. Mögliche "Cross Talk" Effekte sind aufgrund der anatomischen Nähe anderer hüftnaher Muskeln und methodischer Limitationen des Oberflächen-EMG jedoch nicht vollständig auszuschließen.

Aufgrund der oberflächenelektromyographischen Ableitungen lässt sich ferner vermuten, dass die lumbalen Anteile des M. erector spinae während der "Lateralflexionsbewegung" eine eher stabilisierende Funktion übernehmen und eine dem Rotationsmoment entgegenwirkende Kraft erzeugen. Die Reproduzierbarkeit des Aktivierungsverhaltens der untersuchten Muskeln wurde in der vorliegenden Test-Retest Untersuchung anhand des mittleren bis hohen Übereinstim-

mungsgrades und der geringen Mittelwertsunterschiede bei Wiederholungsmessungen belegt. Wenngleich keine systematischen Unterschiede zwischen den Testungen vorlagen, so zeigten sich bei der Wiederholungsmessung im Gruppenmittel eine Erhöhung von EMG Aktivität und Maximalkraft. Diese können vornehmlich auf zwei Ursachen zurückgeführt werden. Aufgrund der Wiederholungsmessungen können Lerneffekte und daraus resultierende Kraft- und Aktivitätszunahmen nicht ausgeschlossen werden. Gleichzeitig verbessert sich mit zunehmender Applikationsdauer der EMG Elektroden aufgrund des abnehmenden Hautwiderstands die Ableitbedingungen was seinerseits zu Amplitudenerhöhungen führen kann.

Die Lateralflexionsposition scheint für eine standardisierte Testung der im Gehen sichernden (13) und in der Rehabilitation von Hüftpatienten, als bedeutsam erachteten Muskelgruppen geeignet. Zukünftige Untersuchungen sollten jedoch klären, inwieweit die untersuchte isometrische Messposition im Liegen in der Lage ist, das intermuskuläre Zusammenspiel, bspw. zur Beckenstabilisierung im Gehen (21), abzubilden.

Vor dem Hintergrund der hier ermittelten Ergebnisse erscheint ein Einsatz der beschriebenen Kraftmessmethode in klinischen Studien (19) zulässig. Allerdings ist bei der Testbewegung zu beachten, dass es sich um eine Kombinationsbewegung handelt, die durch das Zusammenspiel mehrerer Muskeln und Muskelgruppen realisiert wird. Die Aussagekraft eines einzelnen, zwar als reproduzierbar geltenden Kraftwerts, zur Beschreibung dieses intermuskulären Zusammenspiels ist fraglich. So kann bei der Lateralflexion im Gegensatz zur isolierten Muskeltestung in Funktionsrichtung die Dominanz einzelner Muskeln Defizite in anderen Bereichen überdecken. Zur Bestimmung, welche Muskeln und Muskelgruppen mit welchem Aktivierungsgrad zur Ausführung der Testbewegung beitragen, erscheint eine Kombination von Kraft und EMG Messung sinnvoll. Jedoch stellt sich die Frage, inwieweit methodisch und zeitlich aufwendige EMG Untersuchungen Eingang in die klinische Funktionsdiagnostik finden können.

Ungeachtet dieser Problematik sollte bei Probanden mit wenig Erfahrung im Bereich der Kraftmessung oder bei Patienten vor der eigentlichen Testung die Möglichkeit zum Üben oder zur Gewöhnung gegeben werden, um eine ausreichende Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten.

Schlussfolgerung

Der von *Stutz und Schreiber* (17, 19) zur Funktionsdiagnostik und Therapiesteuerung eingesetzte Lateralflexionstest gestattet reliable Messungen. Er kann jedoch nicht zur Abschätzung des Maximalkraftniveaus einzelner Muskeln dienen, was anhand der vorliegenden Studienergebnisse nach-

gewiesen wurde. Andererseits gestattet er eine vergleichsweise kostengünstige Verlaufsbeobachtung des Kraftverhaltens. Patientenstudien müssen zeigen, inwieweit diese Messposition zu differenzierten Diagnosen bei koordinativen Veränderungen motorischer Stereotype und zur weiteren Klärung möglicher langfristiger Einflüsse bei komplexen Störungen der alltags- und sportspezifischen Motorik beitragen kann.

Literatur

1. Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 8 (1986) 307-310.
2. Cahalan TD, Johnson ME, Liu S, Caho EYS: Quantitative Measurements of hip strength in different age groups. *Clin Orthop Relat R* 246 (1989) 137-145.
3. Gracovetsky S: The spinal engine. Springer Verlag, New York 1988.
4. Dvir Z. *Isokinetics: Testing, interpretation and clinical applications.* Churchill Livingstone, Edinburgh, 1994.
5. Freriks B, Hermens H, Disselhorst-Klug C, Rau G: The recommendations for sensors and sensor placement procedures for surface electromyography. European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy, results of the SENIAM project, SENIAM 8 (1999) 15-53.
6. Hopkins W: Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30 (2000) 1-15.
7. Horstmann T, Martini F, Mayer F, Sell S, Knak J, Zacher J: Kraftverhalten der hüftumgreifenden Muskulatur und Gehfähigkeit bei Patienten nach Implantation einer zementfreien Hüftendoprothese. *Z Orthop* 133 (1995) 562-567.
8. Klein-Vogelbach S: Rehabilitation und Prävention 1. 3. vollst. überarb. Aufl., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1984.
9. Kraemer WJ, Fry AC: Strength testing: development and evaluation of methodology. In: Maud P, Foster C (Eds.): *Physiological assessment of human fitness.* Human Kinetics, Champaign, 1995, 115-138.
10. McGill S: Low Back Exercises: Evidence for Improving Exercise Regimens. *Phys Ther* 78 (1998) 754-765.
11. Murray MP, Sepic SB: Maximum isometric torque of hip abductor and adductor muscles. *Phys Ther* 48 (1968) 1327-1335.
12. Neuman DA: Hip abductor muscle activity as subjects with hip prostheses walk with different methods of using cane. *Phys Ther* 78 (1998) 490-501.
13. Perron M, Malouin F, Moffet H, McFadyen BJ: Three-dimensional gait analysis in women with a total hip arthroplasty. *Clin Biomech* 15 (2000) 504-515.
14. Perry J: *Gait analysis – Normal and pathological function.* Medical Publishing Group, New York, 1992.
15. Pfeifer K, Vogt L, Banzer W: Messpositionen und deren Reproduzierbarkeit zur Erfassung der isometrischen Maximalkraft verschiedener Muskelgruppen. *Gesundheitssport und Sporttherapie* 19 (2003) 5-8.
16. Pfeifer K, Vogt L: Elektromyographie, in: Banzer W, Pfeifer K, Vogt L: *Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin.* Springer Verlag, Heidelberg, 2003, 166-193
17. Schreiber U, Stutz R: Qualitätssicherung durch Dokumentation des Rehabilitationsprozesses durch biomechanische Funktionsanalyse mit dem Ziel einer kontinuierlichen objektiven Rückmeldung in den Therapieverlauf. Deutsche Gesellschaft für Physikalische Medizin und Rehabilitation und Verband Physikalische Therapie (Kongress 1999, Hannover). *Phys Rehab Kur Med* 9 (1999) 154.
18. Shih Ch, Du YK, Lin Yh: Muscular recovery around the hip joint after total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 302 (1994) 115-120
19. Stutz R, Schreiber U: Entwicklung von standardisierten Messmethoden im Rehabilitationsprozess anhand komplexer funktioneller Zusammenhänge. Beispiel Hüftgelenk. Kongressband VRF 1999, Euromed Klinik, Fürth
20. Vaz MD, Kramer JF, Rorabeck CH, Bourne RB: Isometric hip abductor strength following total hip replacement and its relationship to functional assessments. *JOSPT* 18 (1993) 526-531.
21. Vogt L, Pfeifer K, Banzer W: Neuromuscular control of walking with chronic low-back pain. *Man Ther* 8 (2003), 21-28
22. Yang JF, Winter DA: Electromyographic amplitude normalization methods: Improving their sensitivity as diagnostic tools in gait analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 65 (1984) 517-521.

Korrespondenzadresse:

Dipl.- Sportwiss. Magnus Ruhleder
 Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main
 Institut für Sportwissenschaften
 Abteilung Sportmedizin
 Ginnheimer Landstraße 39
 60487 Frankfurt/Main
 Fax: 069-798-24592
 e-mail: Ruhleder@sport.uni-frankfurt.de