

Mattes K, Hazzaa Walaa Eldin A, Manzer S

Reproduzierbarkeit lokaler Muskelermüdung der Dorsal- und Plantarflexoren des Sprunggelenks

Reproducibility of Local Muscle Fatigue of the Ankle Dorsiflexors and Plantar Flexors

Universität Hamburg, Institut für Bewegungswissenschaft

ZUSAMMENFASSUNG

Muskelermüdung wird als Ursache für Laufverletzungen angenommen. Elektromyografische Untersuchungen belegen, dass die Dorsal- und Plantarflexoren des Fußes zwischen 50 bis 85% des Laufzyklus aktiv sind und somit stark ermüden können. Die Befunde zur Ermüdung beim Laufen sind jedoch widersprüchlich, da unterschiedliche Ermüdungsprotokolle (Laufen, lokale Muskelermüdung) teilweise ohne Reliabilitätsangaben verwendet wurden. Ziel der Studie war die Bestimmung der Reproduzierbarkeit eines Ermüdungsprotokolls der Dorsal- und Plantarflexoren.

Im Test-Retest-Design wurden 29 männliche Freizeitläufer (KH=181,4 ± 4,7 cm, KM= 79,4 ± 9,3 kg, Alter=26,6 ± 4,3 J.) auf dem IsoMed 2000 Dynamometer (D&R FERSTL GmbH, Hemau, Germany) untersucht. Die Probanden absolvierten an zwei Testtagen jeweils einen isometrischen Maximalkrafttest (maximale Willkürkontraktion) und ein isokinetisches Ermüdungsprotokoll (zehn Sätzen a sechs konzentrische Kontraktionen, 10 s Satzpause, Winkelgeschwindigkeit 60 °/s) der Plantar- und Dorsalflexoren. Die Reproduzierbarkeit wurde mittels Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) und dem Bland-Altman-Verfahren bestimmt.

Im Test wurden ICC-Werte für die Plantar- bzw. Dorsalflexoren beim isometrischen Maximalkrafttest von 0,96-0,99 bzw. 0,90-0,98, beim Ermüdungsprotokoll von 0,89-0,97 bzw. 0,87-0,97 sowie beim Ermüdungsindex von 0,84-0,96 bzw. 0,76-0,94 ermittelt. Die absolute Reproduzierbarkeit lag für die Plantar- bzw. Dorsalflexoren beim isometrischen Maximalkrafttest bei 3,1 bzw. 6,4 %, beim Ermüdungsprotokoll bei 6,2 bzw. 10,7 % sowie beim Ermüdungsindex bei 12,3 bzw. 21,8 %. Somit werden mit dem IsoMed 2000 für die Plantar- und Dorsalflexoren im isometrischen Maximalkrafttest hohe Reliabilitätswerte sowie für das isokinetische Ermüdungsprotokoll für die Plantarflexion hohe bzw. für Dorsalflexion hohe bis moderate Reliabilitätswerte gezeigt.

Schlüsselwörter: IsoMed 2000, Test-Retest-Reliabilität, Ermüdung, Sprunggelenk.

SUMMARY

The study aimed to determine the absolute and relative reproducibility of local muscle fatigue during isometric and isokinetic contraction of the ankle dorsiflexors and plantar flexors.

In the test-retest design 29 male runners (height: 181.4 ± 4.7 cm, weight: 79.4 ± 9.3 kg, age = 26.6 ± 4.3 years) were measured in two sessions (three - seven days apart) during isometric (maximal voluntary) and isokinetic contraction (ten sets each with six concentric contraction, 10 s set break, angular velocity 60 °/s) of the ankle dorsiflexors and plantar flexors using the IsoMed2000 Dynamometer. Reproducibility was characteristic of intra-class correlation coefficient (ICC) and the Bland-Altman method.

'Very good' reliability was found for the ICC values (isometric test) (0.96 to 0.99 resp. 0.90 to 0.98); 'good' to 'very good' reliability for the fatigue protocol (isokinetic) (0.89 to 0.97 resp. 0.87 to 0.97); 'acceptable' to 'very good' reliability for the fatigue index (0.84 to 0.96 resp. 0.76 to 0.94). Absolute reproducibility (standard deviation of the differences of the measured values in percent of the average of the two tests) was during isometric test at 3.1 resp. 6.4%, while fatigue protocol was at 6.2 resp. 10.7 % and the fatigue index at 12.3 resp. 21.8% (dorsi-flexors resp. plantar flexors).

The results of this study demonstrate that the IsoMed2000 is a reliable device when used for local muscle fatigue of the ankle dorsiflexors and plantar flexors.

Key Words: IsoMed 2000, test-retest-reliability, fatigue, ankle

EINLEITUNG

Mit der Zunahme an Laufsportlern stieg auch der Anteil an typischen belastungsabhängigen Beschwerden des Stütz- und Bewegungsapparats (12). Dabei betreffen über 90 Prozent der laufassoziierten Beschwerden die untere Extremität, wovon ca. ein Drittel jeweils auf das Knie, den Unterschenkel und den Fuß entfallen (12,4,9). Die Muskelermüdung wird als ein ursächlicher Faktor für viele Laufverletzungen angenommen (6,10). Beim Laufen trägt der Fuß das 2- bis 3-Fache des Körpergewichts. Damit diese Kräfte den passiven Bewegungsapparat nicht über- oder fehlbelasten, muss die Muskulatur der unteren Extremität für eine adäquate Schock-

absorption sorgen. Ermüdet die Muskulatur jedoch, ist eine ausreichende Absorption der Aufprallkräfte nicht mehr gewährleistet, der passive Bewegungsapparat wird in Mitleidenschaft gezogen und das Risiko für Laufverletzungen steigt.

accepted: August 2014

published online: September 2014

DOI: 10.5960/dzsm.2014.144

Mattes K, Hazzaa Walaa Eldin A, Manzer S: Reproduzierbarkeit lokaler Muskelermüdung der Dorsal- und Plantarflexoren des Sprunggelenks. Dtsch Z Sportmed. 2014; 65: 253-257.

Elektromyografische Untersuchungen der Dorsal- und Plantarflexoren des Fußes belegen, dass diese Muskeln zwischen 50 bis 85% des Laufzyklus aktiv sind und somit in Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit und dem individuellen Muskelfaserspektrum stark ermüden können (11,15). Die Befunde zur Ermüdung beim Laufen sind jedoch aufgrund der unterschiedlichen Ermüdungsprotokolle widersprüchlich. Die Mehrzahl der Studien verwendete erschöpfendes Laufen (5,18) ohne differenzieren zu können, welche kinematischen oder kinetischen Veränderungen direktes Resultat der lokalen Muskelermüdung darstellen. Für eine differenzierte Betrachtung bieten sich standardisierte Protokolle mit lokaler Ermüdung der Muskulatur des Knie- und/oder Sprunggelenks mittels isokinetischer Diagnosegeräte an. Eine wesentliche Voraussetzung ist die Reproduzierbarkeit der Testergebnisse, um sowohl die Ermüdung als auch den Einfluss auf das Laufen bewerten zu können (2).

Obwohl isokinetische Dynamometer häufig zur Quantifizierung der Muskelfunktionen auch des Sprunggelenks eingesetzt werden, existieren nur wenige Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit der Daten, wobei Untersuchungen zur Inversion und Eversion dominieren (2). Für die Plantar- und Dorsalflexoren liegen Reproduzierbarkeitsstudien zur isometrischen und isokinetischen Krafttestung auf verschiedenen Dynamometern (Biodex, Cybex, KinCom) und unterschiedlicher Probandengruppen (Alter, Geschlecht, sportliche Aktivität) vor (7,17,9,13,14) vor. In erster Linie wurden Maximalkrafttests und nur vereinzelt die Ermüdung der Dorsalflexoren (3,9) thematisiert. Holmbäck et al. (2001) untersuchten auch die Reproduzierbarkeit und konstatierten klinisch akzeptable Werte für die Dorsalflexoren der dominanten Seite von gesunden älteren Personen (70-85 J.). Aufgrund der Testspezifität verbietet sich jedoch ein Transfer der Ergebnisse zwischen den Testgeräten und Muskelgruppen.

PROBLEM – UND ZIELSTELLUNG

Ein vergleichsweise neues, aber bereits verbreitetes Gerät stellt das IsoMed 2000 Dynamometer dar. Studien zur Reproduzierbarkeit der Testdaten liegen für die Knieflexion und -extension vor (12). Zur Reproduzierbarkeit der Plantar- und Dorsalflexoren gibt es bisher nur eine Studie (8), wobei das Ermüdungsprotokoll 50 aufeinanderfolgende isokinetische, konzentrische Plantarflexionen (Winkelgeschwindigkeit 60°/s) umfasste. Drei verschiedene Ermüdungsindikatoren wurden überprüft, deren Reproduzierbarkeit nach Einschätzung der Autoren nicht ausreichend war, um als akzeptabel eingestuft zu werden (ICC 0,52-0,71 und Variabilitätskoeffizienten 10 bis 29,3%).

Ziel der Studie war die Bestimmung der absoluten und relativen Reproduzierbarkeit eines Ermüdungsprotokolls der Dorsal- und Plantarflexoren im Sprunggelenk unter isokinetischen Bedingungen am IsoMed 2000 Dynamometer.

MATERIAL UND METHODEN

Die Studie nutze ein Prä- und Posttestdesign, wobei jeder Proband eine Übungseinheit sowie einen Vor- und Nachtest beim selben Testleiter absolvierte. In der Übungseinheit machten sich die Probanden mit dem Messgerät und Testablauf vertraut, die Positionie-



Abbildung 1: Positionierung des Probanden.

rung der Probanden wurde erprobt und gespeichert. Die Testwiederholung erfolgte minimal drei und maximal sieben Tage nach dem Prätest. Dieser Zeitraum wurde gewählt, um eine vollständige Wiederherstellung der ermüdeten Muskulatur zu sichern. Vor Beginn der Untersuchung wurde ein Ethikvotum bei der Ärztekammer Hamburg eingeholt.

Untersucht wurden 29 männliche sportliche Freizeitläufer (KH=181,4 ± 4,7 cm, KM= 79,4 ± 9,3 kg, Alter=26,6 ± 4,3 J.), die mindestens zwei bis drei Mal wöchentlich Laufen. Alle Sportler waren gesund, ohne kardiale und orthopädische Einschränkungen. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig mit Einwilligung der Probanden nach den Kriterien der Deklaration von Helsinki.

Die Untersuchungen fanden auf dem IsoMed 2000 Dynamometer (D&R FERSTL GmbH, Hemau, Germany) statt. Das Gerät entspricht medizinischen Sicherheitsstandards. Die Kalibrierung des Geräts war zertifiziert und wurde am Testtag überprüft. Die Messgenauigkeit der Drehmomente betrug 0,25% bei einer Messfrequenz von 200 Hz.

Nach einer Erwärmung von 10 Minuten Laufen auf dem Laufband mit 9 km/h absolvierten die Probanden zunächst den isometrischen Maximalkrafttest, der drei Sätze a einer maximalen Kontraktion von 5 s und 3 Minuten Satzpause umfasste. Die erste Serie diente als Probe, die beiden anderen als Test. Der Winkel im Sprunggelenk betrug jeweils 90°. Begonnen wurde mit der Plantarflexion.

Das anschließende isokinetische Ermüdungsprotokoll setzte sich aus zehn Sätzen a sechs Wiederholungen konzentrischer Kontraktionen der Plantar- und Dorsalflexoren mit 10 s Satzpause und einer Winkelgeschwindigkeit von 60°/s zusammen. Das Bewegungsmaß betrug maximal 55° für die Plantarflexion und 25° für die Dorsalflexion. Begonnen wurde mit der Plantarflexion.

Die Einstellungen am IsoMed 2000 erfolgten nach den Angaben des Herstellers. Die Probanden befanden sich in sitzender Position, Neigung der Rückenlehne 70°, Kniewinkel 90°, Oberschenkel fixiert. Die Drehachse des Dynamometers wurde in Übereinstimmung mit der Drehachse des oberen Sprunggelenks (dickste Stelle des Malleolus lateralis zum medialen Malleolus) gebracht. Der Fuß war mit einem Gurt auf der Platte befestigt. Die Schwerkraftkompensation war eingeschaltet, das Abbremsen auf weich sowie die Beschleunigung auf mittel eingestellt (Abb.1).

Muskelgruppe	Kennwert [Maßeinheit]	Prätest	Posttest	t	dt	p-Wert
Plantarflexoren	M_x [Nm]	167,6 ± 28,8	167,6 ± 27,8	-0,7	28	0,97
	M_{60} [Nm]	118,3 ± 21,6	116,7 ± 22,0	0,6	28	0,25
	M_{60}/M_x	2,13 ± 0,40	2,13 ± 0,39	0,6	28	0,96
	M_x/K_M [Nm/kg]	1,50 ± 0,30	1,48 ± 0,29	-0,6	28	0,18
	M_{60}/K_M [Nm/kg]	0,71 ± 0,12	0,70 ± 0,11	0,7	28	0,19
Dorsalflexoren	M_x [Nm]	39,3 ± 8,2	39,4 ± 8,5	0,8	28	0,85
	M_{60} [Nm]	11,1 ± 3,5	11,1 ± 3,3	-1,5	28	0,9
	M_{60}/M_x	0,50 ± 0,11	0,50 ± 0,11	-2,2	28	0,75
	M_x/K_M [Nm/kg]	0,14 ± 0,04	0,14 ± 0,04	0,9	28	0,81
	M_{60}/K_M [Nm/kg]	0,28 ± 0,07	0,29 ± 0,08	-1,5	28	0,44

Tabelle 1: Mittelwert ± Standardabweichung der Drehmomente im Test-Retest-Vergleich, maximales isometrisches Drehmoment (M_x), mittleres Drehmoment des isokinetischen Ermüdungsprotokolls (M_{60}), Ermüdungsindex (M_{60}/M_x), Körpermasse (K_M), rechtes Bein, N=29.

Die Datenauswertung erfolgte über die Herstellersoftware (Iso-Med Analyse V.1.0.5). Für den isometrischen Test wurde das größte maximale Drehmoment aus beiden Versuchen und für den isokinetischen Test die Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen Drehmomente der 60 Wiederholungen ermittelt. Der Koeffizient des mittleren Drehmoments aus dem isokinetischen Ermüdungsprotokoll durch das maximale Drehmoment aus dem isometrischen Maximalkrafttest dient als Ermüdungsindex. Ein kleiner Koeffizient wies somit auf starke lokale Muskelermüdung hin. Die Daten wurden zusätzlich auf die Körpermasse normiert.

Die Datenanalyse umfasste zunächst eine beschreibende Statistik (arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung). Die relative Reproduzierbarkeit wurde mit dem Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) beschrieben (ICC (3,1), unjustierte Schätzung) und in Übereinstimmung mit Empfehlungen von Vincent (1995) bewertet (ICC>0,9 hoch, 0,8-0,9 moderat, <0,8 gering). Verwendet wurde der ICC (3,1) Die Bestimmung der absoluten Reproduzierbarkeit erfolgte nach der Bland-Altman-Methode mittels xl-STAT in Excel. Dabei wurden die individuellen Differenzen zwischen den beiden Tests für jeden Probanden gegen den Mittelwert aus beiden Tests grafisch aufgetragen, um visuell die Homoskedastizität zu bewerten (Atkinson & Nevill, 1998). Zur Bestimmung des zufälligen Fehlers kamen die Standardabweichung der individuellen Mittelwertdifferenzen von Test 1 und 2 sowie die Differenz zwischen den Übereinstimmungsgrenzen zur Anwendung. Die relativen Fehlermaße wurden in Prozent der Mittelwerte aus beiden Tests berechnet.

Die Normalverteilung und Varianzhomogenität wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov- und Levene-Test sowie die Differenzen auf statistische Signifikanz dem T-Test für abhängige Stichproben unter Verwendung eines α -Niveaus von $p \leq 0,05$ mittels des statistischen Computerprogramms IBM SPSS 20.0, (Chicago, IL, USA) getestet.

ERGEBNISSE

Tabelle 1 stellt die Mittelwerte und Standardabweichungen von Test 1 und Test 2 gegenüber. Die Homoskedastizität der Daten war erfüllt, da keine Abhängigkeit der Streuung der Drehmomente von deren Betrag vorlag. Bei allen untersuchten Kennwerten bestanden keine signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten der beiden Testreihen. Im Durchschnitt betrug der Ermüdungsindex bei

den Plantarflexoren $70 \pm 11\%$, dagegen bei den Dorsalflexoren nur $28,5 \pm 7\%$. Die Dorsalflexoren wurden relativ stärker ermüdet.

Die Daten zu relativen und absoluten Reproduzierbarkeit präsentiert Tabelle 2. Die ICC-Werte waren geringfügig größer bei der Plantarflexion vs. Dorsalflexion und beim Maximalkrafttest vs. Ermüdungsprotokoll. Eine geringere relative Reliabilität wurde beim Ermüdungsindex (M_{60}/M_x) mit ICC-Werten zwischen 0,84-0,96 für die Plantarflexion und zwischen 0,76-0,94 für die Dorsalflexion gefunden.

Für die absolute Reliabilität wurde der größte relative Fehler für den Ermüdungsindex mit 6,4% für die Plantarflexion bzw. 12,5% für die Dorsalflexion ermittelt. Die relativen Fehler waren ebenfalls kleiner bei der Plantarflexion vs. Dorsalflexion und beim Maximalkrafttest vs. Ermüdungsprotokoll. Die Drehmomente pro Kilogramm Körpermasse führten zu keiner beachtenswerten Veränderung der Reproduzierbarkeit.

DISKUSSION

Primäres Ziel der Studie war die Bestimmung der Intra-rater Reliabilität eines Ermüdungsprotokolls der Plantar- und Dorsalflexoren des Sprunggelenks unter isokinetischen Bedingungen am IsoMed 2000 Dynamometer. In Anlehnung an die Bewertung von Vincet konnte für das Ermüdungsprotokoll sowohl der Plantar- als auch der Dorsalflexoren eine hohe relative Reproduzierbarkeit mit ICC-Werten von im Durchschnitt größer als 0,9 festgestellt werden. Der errechnete Ermüdungsindex zeigte für die Plantarflexoren eine hohe (0,92) und für die Dorsalflexoren eine moderate relative Reproduzierbarkeit (0,88).

Für die Plantarflexoren wurde eine hohe absolute Reproduzierbarkeit erreicht, die Veränderungen der lokalen Kraftausdauer sowohl im Gruppenvergleich ($\Delta sd\% = 3,1\%$) als auch einzelner Probanden ($\dot{U}G\% = 6,1\%$) reliabel abbildet. Demgegenüber eignet sich das Ermüdungsprotokoll für die Dorsalflexoren moderat für Probandengruppen ($\Delta sd\% = 10,7\%$), aber nur eingeschränkt für einzelne Probanden ($\dot{U}G\% = 20,5\%$).

Die im Vergleich zu Hébert-Losier et al. (2013) erreichte höhere relative und absolute Reproduzierbarkeit wurde begünstigt durch ein ausreichendes Gewöhnen der Probanden an das Testgerät und die -bedingungen, das in 10 Serien a 6 Wiederholungen gegliederte Ermüdungsprotokoll mit 10 s Konzentrationspausen zwischen den Serien sowie die Berücksichtigung aller Einzelversuche des Ermüdungsprotokolls.

Tabelle 2: Kennwerte der Reproduzierbarkeit, Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC), Konfidenzintervall (KI), Mittelwert aus beiden Tests (MW), Standardabweichung der individuellen Testdifferenzen (Δsd), in % vom MW ($\Delta sd\%$), durchschnittliche Differenz der Messwerte Test2-Test1 (bias), Differenz bias-ÜG ($\Delta \text{ÜG-bias}$), untere und obere Übereinstimmungsgrenzen (uÜG, oÜG), $\Delta \text{ÜG-bias}$ in % vom MW (ÜG%), maximales isometrisches Drehmoment (M_x), mittleres Drehmoment des isokinetischen Ermüdungsprotokolls (M_{60}), Ermüdungsindex (M_{60}/M_x), Körpermasse (K_M), Plantar- und Dorsalflexoren, rechtes Bein, N=29; ¹Das Signifikanzniveau der ICC-Werte lag zwischen $p=0,00$ und $p=0,01$.

Muskelgruppe	Kennwert [Maßeinheit]	ICC ¹	95% KI	MW	Δsd	95% KI	$\Delta sd\%$	bias	$\Delta \text{ÜG-bias}$	uÜG	oÜG	ÜG%	
Plantarflexoren	M_x [Nm]	0,98	0,96-0,99	167	5,2	-2	2	3,1	0,03	10,3	-10,2	10,3	6,1
	M_{60} [Nm]	0,94	0,89-0,94	117	7,3	-1,2	4,3	6,2	-1,58	14,2	-15,8	12,6	12,1
	M_{60}/M_x	0,98	0,96-0,99	0,71	0,07	-0,03	0,03	3,3	-0,01	0,09	-0,1	0,08	12,9
	M_x/K_M [Nm/kg]	0,94	0,89-0,97	2,13	0,09	-0,01	0,06	6,2	0	0,14	-0,14	0,14	6,5
	M_{60}/K_M [Nm/kg]	0,92	0,84-0,96	1,49	0,05	-0,01	0,03	6,4	-0,02	0,18	-0,21	0,16	12,3
Dorsalflexoren	M_x [Nm]	0,95	0,90-0,98	39	2,5	-1,1	0,9	6,4	0,09	4,9	-4,9	5,0	12,5
	M_{60} [Nm]	0,94	0,87-0,97	11,1	1,2	-0,5	0,4	10,7	0,03	2,3	-2,3	2,3	20,5
	M_{60}/M_x	0,95	0,90-0,98	0,29	0,03	-0,02	0,01	7	0,01	0,06	-0,07	0,07	22,7
	M_x/K_M [Nm/kg]	0,94	0,87-0,97	0,5	0,02	-0,01	0,01	10,7	0	0,07	-0,06	0,07	13,6
	M_{60}/K_M [Nm/kg]	0,88	0,76-0,94	0,14	0,04	-0,02	0,01	12,5	0	0,03	-0,03	0,03	21,8

Im Vergleich zu Holmbäck et al. (2007) wurde eine höhere relative aber vergleichbare absolute Reproduzierbarkeit erreicht. Holmbäck untersuchte die lokale Muskelermüdung der Dorsalflexoren von Seniorinnen und Senioren (70-85 Jahre) auf dem Cybex 3 Dynamometer. Das Ermüdungsprotokoll setzte sich aus 50 aufeinanderfolgenden, isokinetischen, konzentrischen Kontraktionen (Winkelgeschwindigkeit 60°/s) zusammen. Als Ermüdungsindex wurde u.a. der relative Verlust des maximalen Drehmoments im Vergleich der Mittelwerte der ersten drei mit den letzten drei Kontraktionen errechnet und ICC-Werte von 0,6 gefunden, aber die absolute Fehlermaßen waren klein (Standardfehler der Messung < 8,4%).

Die Ergebnisse zeigten eine weniger starke lokale Ermüdung der Plantarflexoren vs. Dorsalflexoren. Ursachen dafür liegen in der höheren Kraft der Plantarflexoren aufgrund ihrer größeren Muskelmasse, der abweichenden Funktion beim Laufen, Gehen sowie anderen Alltagsbewegungen, die eine stärkere Beanspruchung der Plantarflexoren induzieren und dadurch deren Ermüdungswiderstandsfähigkeit trainieren.

Die Ergebnisse zur relativen Reproduzierbarkeit des isometrischen Maximalkrafttests der Plantar- und Dorsalflexoren unter Verwendung des maximalen Drehmoments als Outcome deckte sich gut mit Literaturbefunden, die für isometrische bzw. isokinetische Maximalkrafttests vergleichbare ICC-Werte fanden (7,17,9,13). Dabei waren je nach Untersuchung die Werte der Dorsal- und/oder der Plantarflexoren geringfügig höher. In unserer Studie erreichten wir eine höhere relative Reproduzierbarkeit der Plantarflexoren.

Die Befunde zur absoluten Reproduzierbarkeit des isometrischen Maximalkrafttests waren im Bereich bzw. besser als die bisher referierten Werte mit Winkelgeschwindigkeiten zwischen 30°/s (17,13,14) und 60°/s (8,10). Einen vergleichbaren Messfehler (5,9%) fanden Holmbäck et al. (2007) für die isokinetische Maximalkrafttestung der Dorsalflexoren auf dem Cybex 3 mit einer Winkelgeschwindigkeit von 30°/s.

Für die Knieflexion und -extension am Isomed 2000 Dynamometer fanden Dirnberger et al. (2012) bei maximalen isometrischen

und isokinetischen konzentrischen Kontraktionen (60 und 120°/s) vergleichbare ICC-Werte (0,90 bis 0,98) in Kombination mit akzeptablen Messfehlern zwischen 5,5 und 9,1 Nm für alle Messungen. Die Autoren schlussfolgern, dass eine Gewöhnung an das IsoMed 2000 Dynamometer unbedingt nötig ist, was unsere Erfahrungen uneingeschränkt bestätigen.

Untersucht wurde nur das rechte Bein ohne zu prüfen, ob es sich dabei um das dominante Bein (Sprungbein) handelte, das im Vergleich zum Spielbein höhere Drehmomente zu erwarten lässt. Eine weitere Limitierung bestand in der Konzentration der Auswertung auf das jeweilige Maximum ohne das mittlere Drehmoment, die Arbeits- und Leistungswerte zu berücksichtigen. Zudem wurde nur eine Winkelgeschwindigkeit (60°/s) in einer Positionierung (sitzend) getestet. Die Winkelgeschwindigkeit wurde gewählt, um hohe Widerstände im Test zu erzeugen, ohne dabei die Fußgeschwindigkeit beim Laufen explizit zu berücksichtigen. Die geringeren Werte der Dorsalflexoren erklären sich auch aus methodischen Problemen. Während die Plantarflexoren im Test gegen eine feste Platte arbeiten wurde die Fixierung in Dorsalflexion nur durch Klettband realisiert, was bei einer maximalen Kraftabgabe den eingestellten Winkel stärker verändern kann. Mit der festen Reihenfolge der Plantar- vor der Dorsalflexion ist ein Sequenzeffekt nicht auszuschließen, der eine stärkere Ermüdung der Dorsalflexoren provozierte.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Ergebnisse zeigten, dass isometrische Maximalkrafttests der Plantar- und Dorsalflexoren mit dem Isomed 2000 Dynamometer eine hohe Reproduzierbarkeit erreichen, die Veränderungen der Maximalkraft sowohl auf Gruppenlevel als auch individuellem Level gut abbilden. Das Ermüdungsprotokoll lieferte Testergebnisse für die Plantarflexoren mit hoher Reproduzierbarkeit und für die Dorsalflexoren mit moderater bis hoher relativer sowie moderater absoluter Reproduzierbarkeit.

Unterstützung und finanzielle Zuwendungen

Die Studie wurde gefördert vom WissenschaftsCampus Tübingen, einem interdisziplinären Forschungsverbund des Leibniz-Instituts für Wissensmedien und der Eberhard Karls Universität Tübingen.

Danksagung

Die Autoren danken dem Deutschen Turner-Bund und der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Dr. Stefanie Wagner, GIZ GmbH, Ärztlicher Dienst) für die gute Zusammenarbeit und die Unterstützung bei der Durchführung der Studie sowie der BARMER GEK für die finanzielle Unterstützung des Projekts.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: keine.

15. REBER L, PERRY J, PINK M. Muscular control of the ankle in running. *Am J Sports Med.* 1993;21:805-810. doi:10.1177/036354659302100608
16. VINCENT WJ. *Statistics in Kinesiology.* Champaign, IL: Human Kinetics, 1995.
17. WEBBER SC, PORTER MM. Reliability of ankle isometric, isotonic, and isokinetic strength and power testing in older women. *Phys Ther.* 2010; 90(8):1165-75. doi 10.2522/ptj.20090394.
18. ZADPOOR AA, NIKOOYAN AA. The effects of lower-extremity muscle fatigue on the vertical ground reaction force: A meta-analysis. *Proc Inst Mech Eng H.* 2012;226(8):579-588. doi:10.1177/0954411912447021

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Klaus Mattes
Institut für Bewegungswissenschaft
Mollerstraße 2
20148 Hamburg
E-Mail: klaus.mattes@uni-hamburg.de

LITERATUR

1. ATKINSON G, NEVILL AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med.* 1998;26:217-238. doi:10.2165/00007256-199826040-00002
2. CARUSO JF, BROWN LE, TUFANO JJ. The reproducibility of isokinetic dynamometry data. *Isokinet Exerc Sci.* 2012;20:239-253.
3. CHRISTINA KA, WHITE SC, GILCHRIST LA. Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction forces and ankle joint motion during running. *Hum Mov Sci.* 2001;20(3):257-276. doi:10.1016/S0167-9457(01)00048-3
4. DIRNBERGER J, WIESINGER H-P, STÖGGL T, KÖSTERS A, MÜLLER E. Reproducibility for isometric and isokinetic maximum knee flexion and extension measurements using the IsoMed 2000-dynamometer. *Isokinet Exerc Sci.* 2012;20(1):149-153.
5. FREDERICSON M, MISRA A. Epidemiology and aetiology of marathon running injuries. *Sports Med.* 2007;37(4-5):437-439. doi:10.2165/00007256-200737040-00043
6. GARCÍA-PÉREZ J, PÉREZ-SORIANO P, LLANA S, MARTÍNEZ-NOVA A, SÁNCHEZ-ZURIAGA D. Effect of overground vs treadmill running on plantar pressure: Influence of fatigue. *Gait Posture.* 2013;38(4):929-933. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.04.026
7. HARTMANN A, KNOLS R, MURER K, DE BRUIN ED. Reproducibility of an isokinetic strength-testing protocol of the knee and ankle in older adults. *Gerontol.* 2009;55:259-268. doi:10.1159/000172832
8. HÉBERT-LOSIER K, WILLIS SJ, HOLMBERG HC. The reproducibility of three different indicators of fatigue from plantar-flexion isokinetic testing at two knee flexion angles is not sufficient to be termed 'acceptable'. *Isokinet Exerc Sci.* 2013;21(3):227-236.
9. HOLMBÄCK AM, PORTER MM, DOWNHAM D, LEXELL J. Ankle dorsiflexor muscle performance in healthy young men and women: reliability of eccentric peak torque and work measurements. *J Rehabil Med.* 2001;33(2):90-96. doi:10.1080/165019701750098966
10. HRELJAC A. Etiology, Prevention, and Early Intervention of Overuse Injuries in Runners. a Biomechanical Perspective. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2005;16(3):651-667. doi:10.1016/j.pmr.2005.02.002
11. KELLIS E, LIASSOU C. The effect of selective muscle fatigue on sagittal lower limb kinematics and muscle activity during level running. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(3):210-220. doi:10.2519/jospt.2009.2859
12. MAYER F, GRAU S, BAUR H, HIRSCHMÜLLER A, HORSTMANN T, GOLLHOFFER A, DICKHUTH HH. Verletzungen und Beschwerden im Laufsport. *Dtsch Arztebl.* 2001;19(98):1254-1259.
13. MÖLLER M, LIND K, STYF J, KARLSSON J. The reliability of isokinetic testing of the ankle joint and a heel-raise test for endurance. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(1):60-71. doi:10.1007/s00167-003-0441-0
14. MORRISON KE, KAMINSKI TW. The reproducibility of an isokinetic testing technique at the ankle joint. *Isokinet Exerc Sci.* 2007;15(4):245-251.