

Wonneberger M¹, Drogge D², Schmidt S^{3,4}, Froböse I¹

Veränderung von Gangparametern weiblicher Multiple Sklerose Patienten nach einem Ausdauertraining

Changes of Gait Parameters in Female Multiple Sclerosis Patients after an Endurance Training

¹Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Bewegungstherapie und bewegungsorientierte Prävention und Rehabilitation

²Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft

³Ruhr-Universität Bochum, Knappschafts-Krankenhaus Bochum-Langendreer

⁴Neurologische Gemeinschaftspraxis Bonn

ZUSAMMENFASSUNG

Einleitung: Gangeinschränkungen stellen ein großes Problem für Multiple Sklerose Patienten dar. Diese führen zu einer verminderten sozialen sowie physiologischen Aktivitätsbereitschaft und funktionellen Einschränkungen. Ziel dieser Pilotstudie ohne Kontrollgruppe war es, den Einfluss eines zwölfwöchigen ausdauerorientierten Trainings auf ausgewählte Gangparameter zu untersuchen. Methodik: Zwölf untrainierte Multiple Sklerose Patientinnen (33,5 Jahre \pm 7,0) mit schubförmig remittierendem Krankheitsverlauf (EDSS < 3,5) führten ein Bewegungsprogramm durch, in dem dreimal wöchentlich für 30 Minuten ein Ausdauertraining nach individueller Vorgabe des Herzfrequenzbereichs absolviert werden sollte. Differenziert wurde das Training in eine Intervallmethode, die zweimal und eine Dauerethode, die einmal durchzuführen war. Die Trainingsintensitäten wurden aus einem zuvor durchgeführten Laufbandtest abgeleitet. Vor und nach dem Bewegungsprogramm wurden auf dem Laufband zwei unterschiedliche Belastungsstufen (1. 3,2 km/h, Steigung: 3,5%; 2. 4,8 km/h, Steigung: 7,5%) für die Ganganalyse ausgewählt. Die Gangparameter Schrittfrequenz, Schrittlänge und Bodenkontaktzeit wurden per Videoanalyse kinematisch ermittelt. Ergebnisse: Für alle Gangparameter konnte nach der Intervention eine signifikante Veränderung festgestellt werden: Die Schrittfrequenz war signifikant reduziert (1. $p \leq 0,0001$; 2. $p \leq 0,016$), die Schrittlänge signifikant vergrößert (1. $p \leq 0,001$; 2. $p \leq 0,046$) und die Bodenkontaktzeit signifikant gesteigert worden (1. $p \leq 0,001$; 2. $p \leq 0,026$). Diskussion: Die gemessenen Parameter werden als Indikatoren für die Gangsicherheit angesehen. Daraus ist abzuleiten, dass eine regelmäßige moderate Ausdauerbelastung für Multiple Sklerose Patienten als sinnvoll einzustufen ist.

Schlüsselwörter: Multiple Sklerose, Ausdauertraining, Ganganalyse, Gangparameter.

SUMMARY

Introduction: Gait impairment is a significant problem in patients with multiple sclerosis (MS), leading to decreased activity and functional limitations. The current pilot study without control group investigated the impact of 12-week endurance training on walking parameters including cadence, stride length and step time. Objective: The aim of the present study was to analyze the effect of an endurance training program on walking parameters in patients with gait disturbances due to multiple sclerosis. Methods: Twelve untrained female patients with relapsing-remitting MS participated in this study (age 33.5 \pm 7.0 years). The mean disability according to the EDSS was less than 3.5. Individuals were assessed at baseline and at the end of the exercise program by means of a video analysis during treadmill walking. Two levels of work load were analyzed (1. 3.2 km/h, gradient: 3.5%; 2. 4.8 km/h, gradient: 7.5%). The intervention consisted of three aerobic training sessions per week for a period of 12 weeks. Results: There was a significant change in the three walking parameters. The cadence was significantly reduced (1. $p \leq 0.0001$; 2. $p \leq 0.016$), the stride length significantly increased (1. $p \leq 0.001$; 2. $p \leq 0.046$) and the step time significantly increased (1. $p \leq 0.001$; 2. $p \leq 0.026$). Discussion: We conclude that the exercise program had a significant effect on walking performance. Therefore, moderate exercise is recommendable for MS patients.

Key Words: Multiple Sclerosis, endurance training, gait analysis, gait parameters.

Einleitung

Die Multiple Sklerose (MS) ist eine chronische, schubweise oder progredient verlaufende, entzündliche Erkrankung des zentralen Nervensystems und wird den Autoimmunerkrankungen zugeordnet (13,15).

Ein grundlegendes Problem für MS Erkrankte stellt die progressive Immobilisation dar. Mit zunehmender Krankheitsdauer nehmen die sensomotorischen Einschränkungen zu, wodurch es zu einer Herabsetzung der Gehfähigkeit kommt. Ziel einer Sporttherapie, sollte es daher sein, der fortschreitenden Immobilisation entgegenzuwirken, um somit die Selbstständigkeit im Alltag aufrechterhalten zu können (21). Darüber hinaus führt eine Aufrechterhaltung der Gehfähigkeit zu einer Senkung des Risikos für

Sekundärerkrankungen, die durch den geringeren Aktivitätsgrad hervorgerufen werden.

Mithilfe der durchgeführten Studie könnte aufgezeigt werden, dass mehrmaliges wöchentliches Ausdauertraining zu einer Verbesserung der Gangsicherheit, abgeleitet von den ausgewählten Gangparametern Schrittlänge, Schrittfrequenz und Bodenkontaktzeit, führt. Dabei wird angenommen, dass eine gesteigerte

accepted: February 2012

published online: April 2012

DOI: 10.5960/dzsm.2012.013

Wonneberger M, Drogge D, Schmidt S, Froböse I: Veränderung von Gangparametern weiblicher Multiple Sklerose Patienten nach einem 12-wöchigen herzfrequenzgesteuerten Ausdauertraining Dtsch Z Sportmed 63 (2012) 143-147.

Gangsicherheit eine verbesserte Alltagsbewältigung und somit ein erhöhtes Aktivitätsniveau bedingt. Die Veränderungen der gemessenen Gangparameter könnten Aufschluss über die Effektivität eines gangorientierten Ausdauertrainings geben, da diese Parameter als Indikatoren für Einschränkungen im Gangbild herangezogen werden. Darüber hinaus könnten Rückschlüsse gezogen werden, inwieweit sich durch eine Trainingsintervention der durch neurologische Defizite entstandene funktionelle Status der an MS Erkrankten positiv beeinflussen lässt (6,9,23,25).

MATERIAL UND METHODE

In der hier durchgeführten Pilotstudie ohne Kontrollgruppe wurden zwölf Probandinnen (Tab.1) mit einer schubförmigen Verlaufsform der MS (RR-MS) und einem EDSS-Skalenwert (expanded disability status scale) unter 3,5 eingeschlossen (11). Das Vorhandensein von weiteren chronischen oder akuten Erkrankungen sowie eine Schwangerschaft stellten Ausschlusskriterien dar. Keine der Probandinnen führte zum Zeitpunkt der Untersuchung ein spezifisches Ausdauer- oder Gangtraining durch. Die individuelle Gewöhnung an ein Gehen auf dem Laufband war im Rahmen der individuellen Therapie der Probandinnen unterschiedlich ausgeprägt. Auf Grund privater und beruflicher Einschränkungen der Probandinnen wurden die Messungen zu unterschiedlichen Tageszeitpunkten durchgeführt. Dabei sind tageszeitliche Schwankungen in Bezug auf die ausgewählten Gangparameter als weniger relevant einzustufen (3,17).

Um die Ausgangsleistungsfähigkeit der Probandinnen zu bestimmen und die Trainingsintensitäten für das darauf folgende Training festzulegen, wurden die Probandinnen zu Beginn einem Laufbandtest unterzogen. Die Belastungssteuerung innerhalb des Laufbandtests erfolgte dabei auf Grundlage des modifizierten Naughton-Protokolls (18). Während des Laufbandtests wurden die Sauerstoffaufnahme kontinuierlich und die Herzfrequenz nach jeder inkrementellen Belastungserhöhung gemessen.

Auf zwei Belastungsstufen des Laufbandtests (3,2km/h, 3,5% Steigung und 4,8km/h, 7,5% Steigung) wurden jeweils Videoaufnahmen angefertigt, um anschließend die Parameter Schrittfrequenz, Schrittlänge und Bodenkontaktzeit zu bestimmen. Die Videoaufnahmen erfolgten dabei in Sagittalebene mit drei Metern Abstand zum Laufband für eine Zeitdauer von einer Minute für jede zur Auswertung bestimmte Belastungsstufe. Aufstellung und Ausrichtung der Kamera erfolgte dabei über Bodenmarkierungen und einer Fotomesswand mit entsprechenden Referenzpunkten. Da sich die angewandte Messmethode auf die Erhebung von kinematischen Weg-Zeit-Parameter beschränkt, kann diese in ihrer Reliabilität als zufriedenstellend eingeschätzt werden (8,10,24).

Die Auswertung der Gangparameter Schrittlänge und Bodenkontaktzeit erfolgte computergestützt mittels einer Bewegungsanalysesoftware (Dartfish Deutschland GmbH, Taufkirchen). Durch Festlegung einer Längenreferenz und durch das Definieren von Ereignissen konnten die hier erhobenen Parameter innerhalb der Software teilautomatisiert ausgewertet werden.

Die Schrittfrequenz wurde als die Anzahl der Schritte pro Minute während der Laufbandbelastung definiert. Dabei wurden die absolvierten Schritte über eine Zeit von zehn Sekunden summiert und mit sechs multipliziert. So ergab sich der rechnerische Wert der Schrittfrequenz pro Minute. Dies wurde innerhalb jeder aufgezeichneten Belastungsstufe fünf Mal im Abstand von fünf Sekunden zur

Tabelle 1: Anthropometrische Daten dargestellt als Mittelwert (\bar{x}) mit Standardabweichung (SD) sowie der Minimum (Min)- und Maximumwerte (Max); n=12.

	Min	Max	\bar{x}	SD
Alter (Jahre)	23	42	33,5	7
Größe (cm)	158	180	169,58	6,14
Gewicht (kg)	56,8	83,7	69,68	9,52
Relative $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (ml/min/kg)	18,1	37,7	28,66	6,66

vorherigen Messung durchgeführt und daraus der Mittelwert und die Standardabweichung über die Summe aller Werte ermittelt. Somit wurden Fehler bei der Auswertung minimiert, die durch kurzzeitige Änderung der Schrittfrequenz entstehen können.

Um die Wahrscheinlichkeit einer Ergebnisbeeinflussung aufgrund von möglichen Links-/Rechtsschwächen der Probandinnen gering zu halten, definiert sich die Schrittlänge durch die Länge von zwei aufeinanderfolgenden Schritten (Doppelschritt). Dabei wurde die Distanz zwischen der Fußspitze des hinteren Fußes und der Ferse des vorderen Fußes gemessen. Die Werte für zwei nacheinander durchgeführte Schritte wurden addiert und ergaben den Längenwert eines Doppelschrittes.

Der Zeitraum vom Fersenaufsatz eines Fußes bis zum Abdrücken vom Boden desselben Fußes wurde als Bodenkontaktzeit definiert (2,16).

Auf den Belastungstest folgend, sollten die Probandinnen zwölf Wochen lang ein Bewegungsprogramm durchführen. Die Intensitätssteuerung erfolgte dabei mit einem den Probandinnen zur Verfügung gestellten Herzfrequenzmesssystem bestehend aus einem Brustgurt (Sender) und einer Armbanduhr (Empfänger). In drei Trainingseinheiten pro Woche sollte eine Belastung von jeweils 30 Minuten Dauer durchgeführt werden. Dabei wurden drei Belastungen im aeroben Bereich vorgesehen, die in zwei unterschiedliche Methoden differenziert wurden. Bei der ersten Methode sollte mit einer Herzfrequenz im Bereich von 65 bis 70%, bei der zweiten Methode mit einer Herzfrequenz von 70 bis 80%, abgeleitet von der maximal gemessenen Sauerstoffaufnahme aus dem Laufbandtest, trainiert werden. Das Training nach der ersten Methode wurde dabei als Dauer- und die zweite Methode als Intervallmethode mit wechselnder Belastung alle fünf Minuten zwischen den Herzfrequenzvorgaben der Methode 1 und Methode 2 durchgeführt. Es wurde vorgegeben, dass in jeder Woche zweimal nach der Methode 2 und einmal mit den vorgeschriebenen Intensitäten der Methode 1 trainiert werden sollte. Die Trainingseinheiten konnten wöchentlich nach freier Zeiteinteilung durchgeführt werden. Zwischen den Trainingseinheiten sollten mindestens 36 Stunden liegen. Das Trainingsprogramm sollte dabei selbstständig von den Probandinnen durchgeführt und in einem vorgegebenen Trainingstagebuch dokumentiert werden. Dabei sollten die tatsächlich absolvierte Trainingsdauer, die durchschnittliche Herzfrequenz und die angewandte Methode aufgeführt werden. Eine Einweisung in das herzfrequenzgesteuerte Training erfolgte vor der ersten Trainingseinheit. Es wurde vor allem auf die Latenz der Herzfrequenzreaktion bei Belastungssteigerung und auf die Flüssigkeits- und Temperaturabhängigkeit der Herzfrequenz eingegangen. Den Probandinnen wurde empfohlen die äußeren Bedingungen ihrer Trainingseinheiten möglichst konstant zu halten. Des

Weiteren wurde empfohlen die Trainingsintensität kontrolliert und kontinuierlich zu steigern, um die auf den Belastungsanstieg erfolgte Herzfrequenzreaktion zunächst einschätzen zu können.

Zur Darstellung der Variabilität der einzelnen Gangparameter wurde der Variationskoeffizient (VK %) für die Probandinnen und für die Gesamtgruppe berechnet.

Mögliche Veränderungen der erhobenen Parameter durch die zwölfwöchige Intervention wurden mit einem abhängigen T-Test für gepaarte Stichproben berechnet. Bei der statistischen Auswertung erfolgte die Darstellung der Variablen als Mittelwert \pm Standardabweichung. Bei allen durchgeführten Tests erfolgte eine zweiseitige Signifikanzüberprüfung, wobei für alle statistischen Tests ein p -Wert $\leq 0,05$ als statistisch signifikant angenommen wurde.

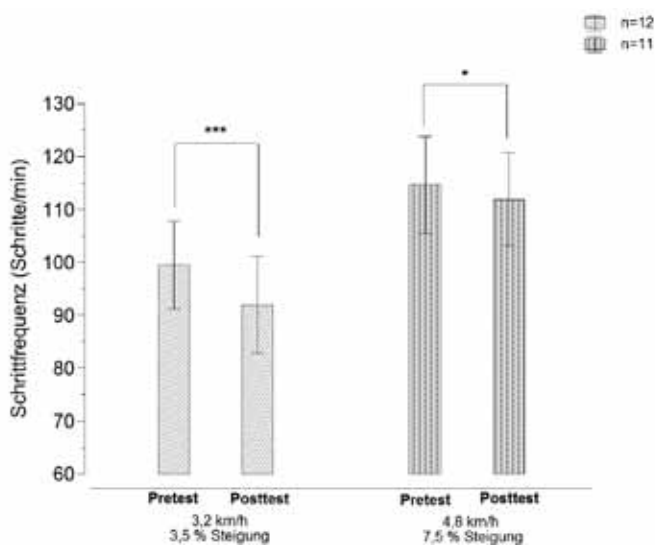


Abbildung 1: Veränderung der Schrittfrequenz auf den definierten Belastungsstufen nach zwölfwöchiger Trainingsintervention ($p \leq 0,0001$ ***; $p \leq 0,016$ *).

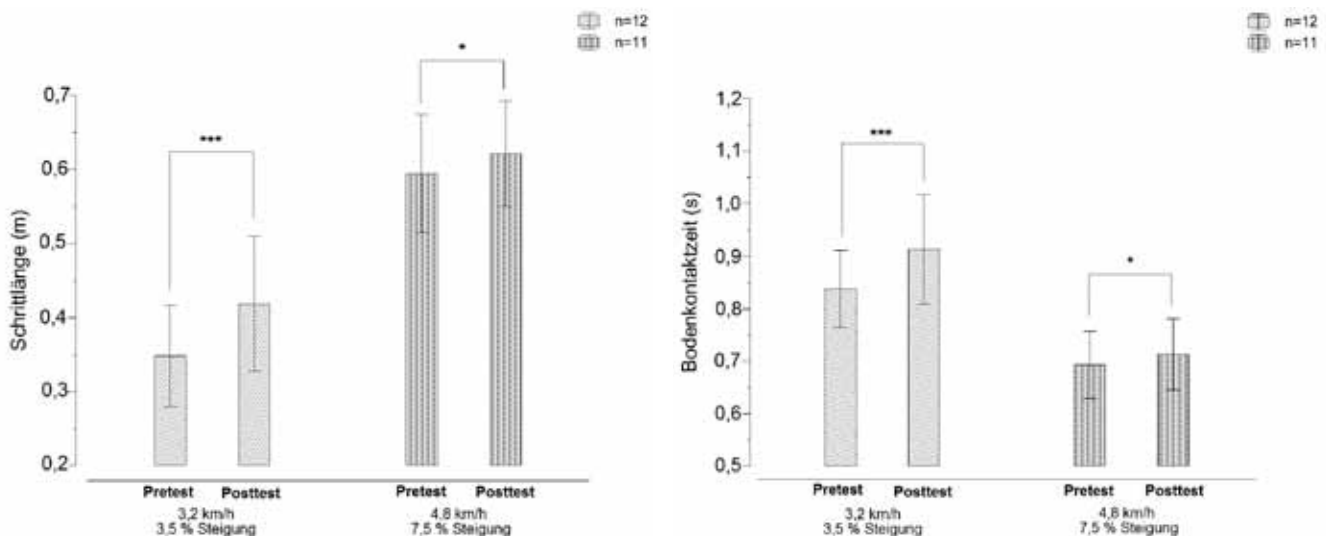


Abbildung 2: Veränderung der Schrittlänge auf den definierten Belastungsstufen nach zwölfwöchiger Trainingsintervention ($p \leq 0,001$ ***; $p \leq 0,046$ *).

ERGEBNISSE

Das vorgegebene Trainingsprogramm wurde durch die Probandinnen selbstständig und mit freier Zeiteinteilung durchgeführt. Dennoch war es nicht allen Personen möglich die Vorgaben zu hundert Prozent zu erfüllen. Als Maß der relativen Erfüllung des Trainingsprogramms wurde das von ihnen geführte Trainingstagebuch herangezogen und ausgewertet. Die theoretisch möglichen Trainingsminuten wurden von den Probandinnen im Mittel zu 88% umgesetzt. Die möglichen Trainingsminuten der Methode 1 und Methode 2 wurden dabei zu 99,42% respektive 84,04% umgesetzt.

Schrittfrequenz, Schrittlänge und Bodenkontaktzeit zeigen im Pre-/Posttestvergleich signifikante Veränderungen. Dies ist sowohl für die Belastungsstufe 3,2km/h, 3,5% Steigung als auch für die Belastungsstufe 4,8km/h, 7,5% Steigung nachweisbar. Eine Probandin konnte die zweite Belastungsstufe im Posttest auf Grund koordinativer Störungen nicht durchführen. Die Ergebnisse der Gangparameter aus dem Posttest für die Belastungsstufe 4,8km/h, 7,5% Steigung setzen sich demnach aus elf Werten zusammen.

Die Schrittfrequenz reduzierte sich auf der ersten Belastungsstufe von $99,5 \pm 8,4$ auf $92,0 \pm 9,2$ Schritte/min respektive $114,6 \pm 9,2$ auf $111,9 \pm 8,8$ Schritte/min auf der zweiten Belastungsstufe (Abb.1). Die Schrittlänge vergrößerte sich auf der ersten Belastungsstufe von $0,35 \pm 0,07$ auf $0,42 \pm 0,09$ m respektive $0,60 \pm 0,08$ auf $0,62 \pm 0,07$ m auf der zweiten Belastungsstufe (Abb.2). Die Bodenkontaktzeit vergrößerte sich auf der ersten Belastungsstufe von $0,84 \pm 0,07$ auf $0,91 \pm 0,10$ s respektive $0,70 \pm 0,06$ auf $0,71 \pm 0,07$ s auf der zweiten Belastungsstufe (Abb.3).

Der Variationskoeffizient für die einzelnen Gangparameter im Pre-/Posttestvergleich in Bezug auf die jeweilige Geschwindigkeitsstufe wurde für jede Probandin einzeln berechnet und für die Gesamtgruppe als Mittelwert mit Standardabweichung aufgeführt (Tab.2).

Abbildung 3: Veränderung der Bodenkontaktzeit auf den definierten Belastungsstufen nach zwölfwöchiger Trainingsintervention ($p \leq 0,001$ ***; $p \leq 0,026$ *).

Tabelle 2: Berechnete Variationskoeffizienten (VK %) der einzelnen Probandinnen (P) sowie Mittelwert (\bar{x}) und Standardabweichung (SD) der Variationskoeffizienten der Gesamtgruppe für die gemessenen Gangparameter. Aufgeführt ist Schrittfrequenz (SF), Schrittlänge (SL) und Bodenkontaktzeit (BK); (n = 12; Posttest 4,8 km/h - 7,5 % n = 11).

Belastungsstufe	Pretest (VK %)						Posttest (VK %)					
	3,2 km/h - 3,5 %			4,8 km/h - 7,5 %			3,2 km/h - 3,5 %			4,8 km/h - 7,5 %		
Gangparameter	SF	SL	BK	SF	SL	BK	SF	SL	BK	SF	SL	BK
P1	1,77	5,52	1,13	2,36	1,4	3,33	1,57	6,32	1,06	0,81	4,45	2,13
P2	0,6	5,54	2,21	1,83	0,81	2,93	1,14	1,23	3,3	0,93	0,95	2,93
P3	1,19	1,67	1,92	1,43	1,22	1,27	2,21	3,46	1,76	---	---	---
P4	1,87	11,27	2,71	1,71	2,84	2,44	1	2,86	1,84	1,02	2,42	1,97
P5	1,08	5,26	2,35	1,06	0,9	6,32	2,25	2,27	2,32	0,9	1,92	2,56
P6	1,11	10,29	5,49	2,84	4,94	4,79	1,26	1,2	3,08	1,06	2,58	3,64
P7	2,11	1,31	2,27	2,03	3,41	1,46	1,33	2,85	0,96	0,93	1,67	1,12
P8	0,86	12,36	3,91	0,83	0,99	1,25	1,01	6,16	1,88	1,02	0,95	1,42
P9	0,96	5,04	1,81	2,03	2,61	1,42	1,19	2,7	1,88	0,93	0,91	3,79
P10	2,1	3,14	4,89	1,68	9,85	5,82	0,96	4,1	1,13	0,76	4,97	5,57
P11	1,14	2,85	1,73	0,96	2,73	0,93	1,32	0,84	2,52	0,96	1,39	1,19
P12	1,03	3,62	6,94	0,9	2,11	2,23	2,05	4,3	3,59	1,89	2,03	3,11
\bar{x} (VK %)	1,32	5,66	3,11	1,64	2,82	2,85	1,44	3,19	2,11	1,02	2,2	2,67
SD (VK %)	0,51	3,71	1,79	0,63	2,53	1,86	0,47	1,79	0,88	0,3	1,37	1,34

DISKUSSION

Gezielte und dosierte körperliche Bewegung ist nach heutigen Erkenntnissen als empfehlenswert für Patienten mit MS anzusehen (4,19). Insbesondere die Aufrechterhaltung der Gehfähigkeit, die Erhaltung der persönlichen Mobilität und das Verhindern von Sekundärerkrankungen stehen dabei im Vordergrund (21).

Die hier gewonnen Erkenntnisse unterstützen die genannten positiven Auswirkungen körperlichen Trainings und die Trainierbarkeit von Patienten mit MS und es wird vermutet, dass sich die Koordinationsleistung der Probandinnen durch die Trainingsintervention verbessert hat. Diese spielt in Bezug auf die Gehfähigkeit eine wichtige Rolle (14).

Durch die fehlende Kontrollgruppe können die Veränderungen der Gangparameter jedoch nicht nur auf die Trainingsintervention zurückgeführt werden und unterliegen somit gewissen Einschränkungen. Es ist daher denkbar, dass während der zwölfwöchigen Intervention bei einigen Probandinnen eine Veränderung des neurologischen Status eingetreten ist, die durch eine spontane Verbesserung der neurologischen Funktionen erklärbar ist (20).

Nach der zwölfwöchigen Trainingsintervention vergrößerte sich die Schrittlänge der Probandinnen signifikant. Lord et al. (2011) sowie Sacco et al. (1998) kamen in ihren Studien zu vergleichbaren Ergebnissen (12,23). Bei Gangunsicherheiten liegen eher reduzierte Schrittlängen vor (1,5). Die Vergrößerung der hier ermittelten Schrittlänge weist als ein Indiz darauf hin, dass sich die Gangunsicherheit reduziert haben könnte.

Die zu Beginn der Abrollphase wichtige Dorsalflexion im Sprunggelenk, in Verbindung mit der vergrößerten Schrittlänge, führte hier möglicherweise zu einer betonteren Abrollbewegung des Fußes und daraus folgend zu dem signifikanten Anstieg der Bodenkontaktzeit (7,22). Im Zusammenhang mit der abnehmenden Schrittfrequenz liefern die hier ermittelten Veränderungen Hinweise für ein verbessertes und kontrolliertes Gangbild.

Eine Differenzierung zwischen Trainingseffekten und spontanen Schwankungen im Verlauf der neurologischen Erkrankung, kann nur durch hinzuziehen einer Kontrollgruppe und einer Beobachtung über längere Zeiträume gelingen. Es ist daher vorgesehen die Erkenntnisse dieser Pilotstudie in weiterführenden Untersuchungen mittels Absicherung durch eine Kontrollgruppe zu festigen.

Schlussfolgerung

Diese Pilotstudie ohne Kontrollgruppe erbringt Hinweise, dass moderate physische Belastung von zwölf Wochen die Gangparameter Schrittfrequenz, Schrittlänge und Bodenkontaktzeit bei Patientinnen mit Multiple Sklerose im frühen Stadium (EDSS < 3,5) positiv verändern kann. Die sportliche Belastung wurde von allen Probandinnen gut toleriert und es sind keine Komplikationen aufgrund des Bewegungsprogramms aufgetreten. Es wird vermutet, dass sich die untersuchten Gangparameter durch eine gesteigerte und ökonomisierte Koordinationsleistung sowie einer verstärkten aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit verändert haben. Die krankheitsbedingt zunehmenden Geheinschränkungen werden aufgrund von Inaktivität zusätzlich verstärkt, sodass die hohe Bedeutung einer regelmäßigen sportlichen Betätigung für MS Patienten deutlich wird.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Die hier durchgeführte Studie wurde mit finanziellen Mittel der Bayer Vital GmbH unterstützt.

LITERATUR

1. BURNFIELD JM, PERRY J: Gait analysis. Normal and pathological function. Slack, Thorofare, NJ, 2010.
2. CHIN R, HSIAO-WECKSLER ET, LOTH E, KOGLER G, MANWARING SD, TYSON SN, SHORTER KA, GILMER JN: A pneumatic power harvesting

- ankle-foot orthosis to prevent foot-drop. *J Neuroeng Rehabil* 6 (2009) 19. doi:10.1186/1743-0003-6-19.
3. CRENSHAW SJ, ROYER TD, RICHARDS JG, HUDSON DJ: Gait variability in people with multiple sclerosis. *Mult Scler* 12 (2006) 613-619. doi:10.1177/1352458505070609.
 4. DALGAS U, STENAGER E, INGEMANN-HANSEN T: Multiple sclerosis and physical exercise: recommendations for the application of resistance-, endurance- and combined training. *Mult Scler* 14 (2008) 35-53. doi:10.1177/1352458507079445.
 5. ENOKA RM: Neuromechanics of human movement. Human Kinetics, Champaign, IL, 2008.
 6. GEHLESEN G, BEEKMAN K, ASSMANN N, WINANT D, SEIDLE M, CARTER A: Gait characteristics in multiple sclerosis: progressive changes and effects of exercise on parameters. *Arch Phys Med Rehabil* 67 (1986) 536-539.
 7. GÖTZ-NEUMANN K: Gehen verstehen. Ganganalyse in der Physiotherapie. Thieme, Stuttgart, 2006.
 8. GROWNEY E, MEGLAN D, JOHNSON M, CAHALAN T, AN K: Repeated measures of adult normal walking using a video tracking system. *Gait Posture* 6 (1997) 147-162. doi:10.1016/S0966-6362(97)01114-4.
 9. HOLDEN MK, GILL KM, MAGLIOZZI MR: Gait assessment for neurologically impaired patients. Standards for outcome assessment. *Phys Ther* 66 (1986) 1530-1539.
 10. KADABA MP, RAMAKRISHNAN HK, WOOTTEN ME, GAINEY J, GORTON G, COCHRAN GV: Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. *J Orthop Res* 7 (1989) 849-860. doi:10.1002/jor.1100070611.
 11. KURTZKE JF: Rating neurologic impairment in multiple sclerosis: an expanded disability status scale (EDSS). *Neurology* 33 (1983) 1444-1452.
 12. LORD SE, WADE DT, HALLIGAN PW: A comparison of two physiotherapy treatment approaches to improve walking in multiple sclerosis: a pilot randomized controlled study. *Clin Rehabil* 12 (1998) 477-486. doi:10.1191/026921598675863454.
 13. LUBLIN FD, REINGOLD SC: Defining the clinical course of multiple sclerosis: results of an international survey. National Multiple Sclerosis Society (USA) Advisory Committee on Clinical Trials of New Agents in Multiple Sclerosis. *Neurology* 46 (1996) 907-911.
 14. MARTIN CL, PHILLIPS BA, KILPATRICK TJ, BUTZKUEVEN H, TUBRIDY N, McDONALD E, GALEA MP: Gait and balance impairment in early multiple sclerosis in the absence of clinical disability. *Mult Scler* 12 (2006) 620-628. doi:10.1177/1352458506070658.
 15. MCFARLAND HF, MARTIN R: Multiple sclerosis: a complicated picture of autoimmunity. *Nat Immunol* 8 (2007) 913-919. doi:10.1038/ni1507.
 16. MORRIS JR: Accelerometry--a technique for the measurement of human body movements. *J Biomech* 6 (1973) 729-736. doi:10.1016/0021-9290(73)90029-8.
 17. MORRIS ME, CANTWELL C, VOWELS L, DODD K: Changes in gait and fatigue from morning to afternoon in people with multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 72 (2002) 361-365. doi:10.1136/jnnp.72.3.361.
 18. PATTERSON JA, NAUGHTON J, PIETRAS RJ, GUNNAR RM: Treadmill exercise in assessment of the functional capacity of patients with cardiac disease. *Am J Cardiol* 30 (1972) 757-762. doi:10.1016/0002-9149(72)90151-8.
 19. RIETBERG MB, BROOKS D, UITDEHAAG BMJ, KWAKKEL G: Exercise therapy for multiple sclerosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2005. doi:10.1002/14651858.CD003980.pub2.
 20. RODGERS MM, MULCARE JA, KING DL, MATHEWS T, GUPTA SC, GLASER RM: Gait characteristics of individuals with multiple sclerosis before and after a 6-month aerobic training program. *J Rehabil Res Dev* 36 (1999) 183-188.
 21. ROMBERG A, VIRTANEN A, RUUTIAINEN J, AUNOLA S, KARPPI SL, VAAARA M, SURAKKA J, POHJOLAINEN T, SEPPÄNEN A: Effects of a 6-month exercise program on patients with multiple sclerosis: a randomized study. *Neurology* 63 (2004) 2034-2038.
 22. ROSE J: Human walking. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2006.
 23. SACCO R, BUSSMAN R, OESCH P, KESSELRING J, BEER S: Assessment of gait parameters and fatigue in MS patients during inpatient rehabilitation: a pilot trial. *J Neurol* 258 (2011) 889-894. doi:10.1007/s00415-010-5821-z.
 24. WESTHOFF B, HIRSCH MA, HEFTER H, WILD A, KRAUSPE R: Wie reliabel sind Informationen aus der 3D-Ganganalyse? *Sportverletz Sport-schaden* 18 (2004) 76-79. doi:10.1055/s-2004-813229.
 25. WINTER DA, PATLA AE, FRANK JS, WALT SE: Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Phys Ther* 70 (1990) 340-347.

Korrespondenzadresse:**Marc Wonneberger****Deutsche Sporthochschule Köln****Institut für Bewegungstherapie und bewegungs-****orientierte Prävention und Rehabilitation****Am Sportpark Müngersdorf 6****50933 Köln****E-Mail: froboese@dshs-koeln.de**