

^{1,2}Granacher U, ²Gruber M, ²Strass D, ²Gollhofer A

Auswirkungen von sensomotorischem Training im Alter auf die Maximal- und Explosivkraft

The impact of sensorimotor training in elderly men on maximal and explosive force production capacity

¹Institut für Sport und Sportwissenschaften, Universität Basel

²Institut für Sport und Sportwissenschaft, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Zusammenfassung

Das Altern ist durch strukturelle Veränderungen des Nerv-Muskel-Systems geprägt, die zu einer generellen Reduktion der Kraftfähigkeit führt. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkungen von sensomotorischem Training (SMT) im Alter auf die Maximal- und Explosivkraft. An der Studie nahmen 40 gesunde Männer im Alter von 60 bis 80 Jahren teil. Diese wurden randomisiert in eine Trainingsgruppe (Sensomotorikgruppe = SG, 20 Teilnehmer) und eine Kontrollgruppe (KOG, 20 Teilnehmer) eingeteilt. Die SG trainierte über einen Zeitraum von 13 Wochen auf verschiedenen instabilen Unterlagen. Vor und nach der Trainingsphase wurden die Kraft-Zeit-Verläufe bei isometrischen Maximalkontraktionen der Beinextensoren unter besonderer Berücksichtigung des Kraftanstiegs analysiert. Die Trainingsgruppe zeigte deutliche Verbesserungen bezüglich der Maximal- und Explosivkraft. Die neuronale Ansteuerung entsprechender Muskeln erhöhte sich dabei ebenfalls.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass SMT den altersbedingten Verlusten der Kraftfähigkeit entgegenwirken kann, indem die neuronale Ansteuerung der agonistischen und synergistischen Muskulatur verbessert wird. Weiterhin geht aus der Studie hervor, dass SMT zu Verbesserungen der Kraftfähigkeit bei älteren Menschen führen kann. Von einem funktionellen Standpunkt aus betrachtet haben die Resultate der Studie, vor dem Hintergrund der erhöhten Sturzgefahr älterer Menschen, eine hohe Relevanz.

Schlüsselwörter: Sensomotorisches Training, Altern, Maximal- und Explosivkraft

Einleitung

Der Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung wird in den Gesellschaften der westlichen Industrienationen immer größer. Gegenwärtig hat jeder Fünfte in Deutschland das 60. Lebensjahr überschritten; in etwa 30 Jahren wird das auf jeden Dritten zutreffen (3). Aufgrund dieser demographischen Entwicklung steigt zwangsläufig auch die Zahl altersspezifischer Erkrankungen und Verletzungen. Hierfür ist das zunehmende Auftreten von Stürzen im Alltag beispielhaft. Ungefähr 30 % aller über

Summary

The aging neuromuscular system is affected by structural and functional changes which lead to a general slowing down of neuromuscular performance. As a consequence, the process of aging results in a reduced ability to develop maximal and explosive force. Therefore, the purpose of the study was to examine the impact of sensorimotor training on maximal bilateral isometric leg extension force (MVC) and maximum rate of force development in elderly men.

40 healthy, elderly males between the ages of 60 and 80 years participated in this study. The 40 subjects were randomly assigned to the sensorimotor training group (SG) and the control group (KOG). Subjects of the SG conducted 13-week training on wobble boards, sissles, soft mats, and uneven surfaces. All subjects (SG and KOG) were pre- and post-tested for their MVC and their RFD on a leg-press.

After the 13-week training period, sensorimotor training led to significant increases in MVC, RFD, and EMG values of the leg extensors.

The investigated parameters demonstrate that sensorimotor training has an impact on MVC and RFD in the elderly. The gains in MVC and RFD are accompanied by considerable increases in maximal voluntary neural activation of leg extensor muscles. With regard to the prevention of falls, it is of great functional interest that MVC and especially RFD remain trainable in older subjects.

Key words: Sensorimotor training, aging, maximal and explosive force production capacity

65-jährigen stürzen mindestens einmal im Jahr. Bei den 80- bis 89-jährigen steigt die jährliche Sturzquote auf 45 %; bei den 90- bis 99-jährigen auf 56 % (30). Unter den vielen sturzverursachenden Faktoren im Alter wurden insbesondere der Rückgang der Maximal- und Explosivkraft sowie Defizite im sensomotorischen System hervorgehoben (9, 32).

Aus der bislang zur Verfügung stehenden Literatur geht hervor, dass dem Krafttraining zum Ausgleich muskulärer Defizite (8, 10, 15, 19, 23) und dem sensomotorischen Training (SMT) zur Verbesserung funktioneller Reflexaktivitäten (11,26,34) sowie alltagsmotorischer Aufgaben (6, 29, 35) die

effektivsten Wirkweisen zugesprochen werden. Unter SMT (Gleichgewichtstraining) verstehen die Autoren Trainingsformen, die auf eine verbesserte Integration afferenter Informationen beim Ablauf spezifischer Bewegungsprogramme abzielen. Eine Verbesserung konditioneller Fähigkeiten und Fertigkeiten wird dabei nicht explizit angestrebt.

Die Effekte von Krafttraining im Alter auf das neuromuskuläre System wurden in verschiedenen Studien untersucht (5, 18, 28). Aus diesen Untersuchungen geht hervor, dass insbesondere Krafttraining mit submaximaler Intensität Verbesserungen der Maximal- und Explosivkraft bewirkt. Weiterhin gibt es Hinweise in der Literatur (16, 31, 33, 36), die besagen, dass sich Krafttraining in Kombination mit SMT im Alter ebenfalls positiv auf die Kraftfähigkeiten der Beinextensoren auswirkt. Die Effekte eines isolierten SMTs im Alter auf die Kraftfähigkeiten wurden bislang jedoch nur von wenigen Arbeitsgruppen analysiert. Judge et al. (20) untersuchten die Auswirkungen eines dreimonatigen SMTs (drei Trainingseinheiten pro Woche) bei älteren Menschen (Durchschnittsalter 80 Jahre) auf das maximale Drehmoment bei isokinetischen Kraftmessungen an der unteren Extremität. Die Autoren wählten für die Flexions-Extensionbewegung im Knie Bewegungsgeschwindigkeiten von 60° und 180°s⁻¹ und für die Flexions/Extensionsbewegung im Sprunggelenk sowie für die Flexions/Extensions- und die Ab-/Adduktionsbewegungen der Hüfte Bewegungsgeschwindigkeiten von 30° und 60°s⁻¹. Judge et al. (20) konnten keine Veränderungen der Maximalkraftfähigkeit bei den untersuchten Bewegungen und Bewegungsgeschwindigkeiten feststellen.

Bei isometrischen Kontraktionen konnte allerdings gezeigt werden, dass SMT bei jungen Menschen die Explosivkraft verbessert (2, 12). Eine entsprechende Anpassung würde gerade für den älteren Menschen eine hohe funktionelle Bedeutung besitzen (17).

Daher war es das Ziel der vorliegenden Studie, die Auswirkungen von SMT im Alter auf die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit bei isometrischen Maximalkontraktionen der Beinextensoren unter besonderer Berücksichtigung des Kraftanstiegs zu untersuchen.

Material und Methode

An der Studie nahmen 40 gesunde, pensionierte Männer im Alter von 60-80 Jahren teil (66 ± 1 Jahre; Body-Mass-Index 26 ± 0,5 kg/m²), die keine neurologischen, muskulären, kardiovaskulären und metabolischen Krankheiten aufwiesen. Die Teilnehmer der Studie beantworteten vor und nach dem Trainingszeitraum den „Freiburger Fragebogen zur Erfassung der körperlichen Aktivität“[®] (7). Der Fragebogen diente der Analyse des Aktivitätsumfangs, der sowohl die „activities of daily living“ als auch sportliche Aktivitäten beinhaltet (Tabelle 1).

Die 40 Probanden wurden randomisiert in die Sensomotorikgruppe (SG, N=20) und die Kontrollgruppe (KOG, N=20) eingeteilt. Die Versuchspersonen der SG nahmen an einem 13-wöchigen Trainingsprogramm teil, wobei die ers-

Tabelle 1: Anthropometrische Merkmale und Aktivitätsumfang der Versuchsgruppen

Versuchsgruppen	SG (N=20)		KOG (N=20)	
	MW	SE	MW	SE
Alter [Jahre]	66.4	1.2	66.8	4.0
Prä: BMI [kg/m ²]	25.8	0.5	25.8	0.6
Post: BMI [kg/m ²]	25.3	0.5	25.9	0.6
Prä: Aktivitätsumfang [h/Woche]	11.6	1.5	10.9	1.2
Post: Aktivitätsumfang [h/Woche]	15.1	1.9	12.3	0.8

SG = Sensomotorikgruppe

KOG = Kontrollgruppe

BMI = Body-Mass-Index

MW = Mittelwert

SE = Standardfehler

te Trainingswoche als Phase der Belastungsgewöhnung konzipiert war, in der sich die Probanden mit den Trainingsgeräten vertraut machen konnten. In den folgenden zwölf Wochen wurde dreimal pro Woche mit jeweils einem Tag Pause zwischen den Trainingseinheiten trainiert. Jede Trainingseinheit dauerte eine Stunde und begann mit einem 10 min Aufwärmprogramm auf einem Fahrradergometer bei 80 W. Der Hauptteil des SMTs wurde auf Airex-Matten[®] (Firma Gaugler & Lutz, Aalen), Kippbrettern und Therapiekreiseln durchgeführt. Während der ersten beiden Trainingswochen verbesserten sich die Probanden, indem sie vom bipedalen Stand zum monopodalen Stand auf sicherer Unterlage übergingen. Während der Trainingswochen drei und vier führten die Versuchspersonen Einbeinübungen mit einem Kniewinkel von ca. 30° auf stabilem Untergrund durch. Der vorgegebene Kniewinkel erforderte eine erhöhte Aktivität in den entsprechenden Muskelgruppen der unteren Extremitäten im Vergleich zum aufrechten Stand (0°). Während der fünften bis zur neunten Trainingswoche balancierten die Probanden im Einbeinstand auf instabilen Unterlagen. Die Probanden konnten sich dabei zur Sicherheit bei Bedarf mit den Händen an einer Wand abstützen. Während der Trainingswochen zehn bis dreizehn standen die Versuchspersonen im Einbeinstand auf instabilen Unterlagen, wobei die Hände in die Hüfte gestemmt waren. Auf jedem Trainingsgerät führten die Probanden vier Serien mit einer Dauer von jeweils 20 s durch. Die Beine wurden im Wechsel trainiert. Zwischen den Serien betrug die Pause 20 s, nach einem Trainingsgerät fünf Minuten. Nach dem SMT fuhren die Probanden in einer „cool down“ Phase für zehn Minuten auf einem Fahrradergometer bei 80 W.

Alle Trainingseinheiten wurden von den Autoren der Studie durchgeführt und dokumentiert. Keine Versuchsperson hatte zuvor an einem systematischen SMT teilgenommen. Die KOG trainierte nicht und nahm lediglich an den biomechanischen Messungen teil.

Um die Auswirkungen des Trainings zu überprüfen wurden vor und nach der 13-wöchigen Trainingsphase die Kraft-Zeit-Verläufe bei isometrischen Maximalkontraktionen der Beinextensoren unter besonderer Berücksichtigung des Kraftanstiegs analysiert.

Die Untersuchung der Maximal- und Explosivkraft wurde am „Freiburger Beinkraft-Messgerät“ (BKM) durchgeführt. Das BKM ist nach dem Prinzip der „leg-press-Maschinen“ konstruiert. Es erfasst die Streckkraft der gesamten Beinkette („geschlossenes System“ - mehrgelenkig) über zwei Kraftmessplatten, die jeweils mit vier eindimensionalen Messfühlern ausgestattet sind. Die Versuchspersonen lagen mit dem Rücken auf einem verschiebbaren gepolsterten Brett, wobei der Knie- und Hüftwinkel 90° betrug. Vor der Maximalkraftmessung wurden die Probanden auf die Gefahr der Pressatmung hingewiesen. Die individuellen Geräteeinstellungen jeder einzelnen Versuchsperson wurden dokumentiert, um die Reproduzierbarkeit der Abschlussmessung zu gewährleisten. Die jeweiligen Kraft-Zeit-Verläufe wurden zunächst über Piezo-Druckelemente der Firma Kistler® (Winterthur) erfasst, die Analogsignale verstärkt und einer A/D-Wandlertkarte zugeführt, wo sie mit einer Frequenz von 500 Hz in digitaler Form an einen Computer zur Auswertung weitergeleitet wurden. Mit Hilfe des Softwarepakets „Imago“ wurde das Kraftsignal mit einem „Butterworth low-pass-Filter“ („cutoff Frequency“ 50 Hz) geglättet. Bei allen isometrischen Kontraktionen wurde die maximale Amplitude (isometrische Maximalkraft - MVC) und der maximale Anstieg (Explosivkraft - EXKmax) als Parameter der isometrischen Kraft-Zeit-Kurve festgelegt (Abbildung 1).

Bei der Kraftmessung am BKM wurden neben den mechanischen Signalen zusätzlich die Muskeln des M. soleus und M. vastus medialis des rechten Beines elektromyogra-

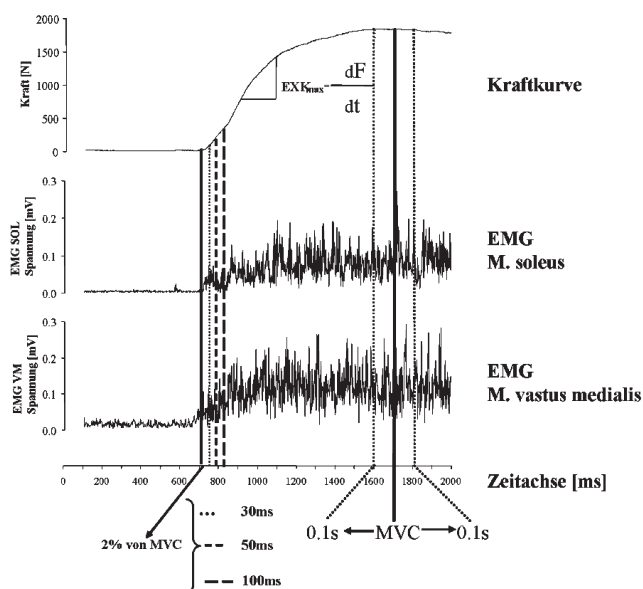


Abbildung 1: Datenanalyse am BKM: Dargestellt sind der Kraft-Zeit Verlauf einer bilateralen isometrischen Kontraktion der Beinstrecker und die entsprechende EMG-Aktivität des M. soleus und des M. vastus medialis. Weiterhin sind die Parameter der Kraftdiagnose (EXKmax, MVC, verschiedene Zeitfenster im Kraftanstieg und um MVC) aufgeführt.

phisch registriert. Die EMG-Signale wurden über das System Madaus® registriert und mit einem Bandpassfilter von 10 Hz bis 1 kHz gefiltert. Ferner wurde ein 50 Hz-Bandstoppfilter eingesetzt. Die bipolaren Oberflächenelektroden (Hellige®, Freiburg, Typ 44008347 Ag-AgCl) wurden nach der Bestim-

mung des Muskelbauches auf der desinfizierten, rasierten und geschmirgelten Haut aufgebracht. Der im Anschluss gemessene Hautwiderstand lag bei allen Probanden unter 5 kΩ. Die EMG Daten wurden mit der Softwarepaket „Imago“ gleichgerichtet, integriert und anschließend zeitnormiert. Die Normierung des integrierten Elektromyogramms (iEMG) auf das jeweilige Zeitfenster ergab die „Mean Amplitude Voltage“ (MAV). Nach der Eingangsmessung wurden die Hautstellen, auf denen sich während der Labormessung die Elektroden befanden, mit einem wasserfesten Stift markiert und bei Bedarf während der Trainingseinheiten nachgezeichnet. Auf diese Weise war es möglich, die Elektroden bei der Ausgangsmessung auf die gleichen Stellen zu platzieren. Die MAV des M. soleus und des M. vastus medialis wurde für die Zeitfenster 0-30, 0-50, 0-100 ms und 100 ms vor und nach MVC erfasst (Abbildung 1). Hierbei wurde der Zeitpunkt null (Triggerpunkt) als zwei Prozent von MVC definiert und softwareseitig errechnet. Die Auswahl dieser Zeitintervalle beruht auf bereits durchgeführten Untersuchungen zu den Auswirkungen von Kraft- und SMT auf das Explosivkraftverhalten junger Menschen (1, 12).

Für die erhobenen Variablen sind die üblichen Kennwerte der deskriptiven Statistik berechnet worden (Mittelwerte - MW und Standardfehler - ±SE). Dem Prä-Post Design der Studie entsprechend wurden Mittelwertvergleiche zwischen der Eingangs- und der Abschlussmessung durchgeführt. Auf diese Weise konnten mit Hilfe des SPSS Moduls GLM („Allgemeines lineares Modell für Messwiederholungen“) Veränderungen der analysierten Parameter in der Trainingsgruppe und in der Kontrollgruppe über die Pillai-Spur errechnet werden. Weiterhin wurde die relative Größe der Mittelwertsdifferenz zwischen der SG und KOG über das partielle Eta-Quadrat (Effektgröße) bestimmt. Zudem wurden Mittelwertvergleiche zwischen den beiden Experimentalgruppen zum Zeitpunkt „prä“ gerechnet („Univariate GLM“). Dadurch konnte festgestellt werden, ob es Unterschiede im Ausgangsniveau der beiden Gruppen gibt, die Auswirkungen auf die Interpretation der Daten hätten. Statistische Veränderungen der Mittelwerte wurden durch die exakte Darstellung der p-Werte angegeben. Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Softwarepaket SPSS 14.0®.

Ergebnisse

Nach der 13-wöchigen Trainingsphase verbesserte sich die Maximalkraft (MVC) der SG von 1414±63N auf 1600±63N (\bar{x} = 13.1%; p = .000; partielles Eta-Quadrat .429). Die maximale Steigung der Kraft-Zeit-Kurve (EXKmax) erhöhte sich von 9.4±0.7 N/ms auf 11.8±0.8 N/ms (\bar{x} = 25.1%; p = .004; partielles Eta-Quadrat .189) (Abbildung 2).

Für die mittleren Amplituden des EMGs von M. soleus und M. vastus medialis konnten keine signifikanten Veränderungen in den analysierten Zeitfenstern beobachtet werden.

Die KOG zeigte in allen analysierten Parametern keine signifikanten Veränderungen. Zudem konnten zwischen der

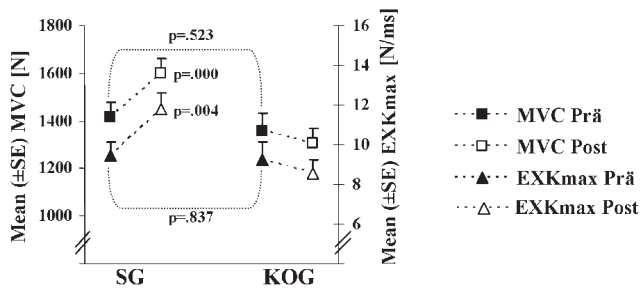


Abbildung 2: Maximalkraftniveau (MVC) und Explosivkraftniveau (EXKmax = größte Steigung im Kraft-Zeit-Verlauf) bei bilateraler isometrischer Kontraktion der Beinextensoren vor und nach der Trainingsperiode. Die gestrichelten Linien sollen andeuten, dass die Prä - Post Veränderungen nicht notwendigerweise linear sind. Dargestellt sind die Mittelwerte (Mean) und Standardfehler (SE). Die Experimentalgruppen unterscheiden sich nicht signifikant im Ausgangsniveau der jeweiligen Parameter.

SG und der KOG keine signifikanten Unterschiede im Ausgangsniveau der gemessenen Kennwerte festgestellt werden. Dies gilt auch für das Aktivitätsverhalten, welches über den Fragebogen erfasst wurde. Die errechneten p-Werte (univariate GLM) umfassten hierbei einen Bereich von $p = .122$ bis $p = .837$.

Diskussion

Durch die vorliegende Studie konnte erstmals gezeigt werden, dass SMT im Alter zu einer verbesserten Maximal- und Explosivkraft führt. Damit könnte SMT alternativ zum traditionellen Krafttraining im Rahmen der präventiven Gesundheitsförderung älterer Menschen eingesetzt werden (23). Der Vorteil von SMT gegenüber Krafttraining ist, dass es mit geringem materiellem Aufwand und auf kleinstem Raum durchgeführt werden kann. Weiterhin haben sensomotorische Übungsformen eine höhere Relevanz für die Bewältigung alltagsmotorischer Aufgaben älterer Menschen als Übungen an Krafttrainingsgeräten. Aus diesem Grunde ist SMT in der Lage spezifische Anpassungserscheinungen im neuromuskulären System hervorzurufen, die ein Krafttraining nicht leisten kann. Hierfür sind die Ergebnisse einer Studie beispielhaft, in der die Wirkweisen von SMT und Krafttraining im Alter im Hinblick auf die Fähigkeit zur Kompensation von Perturbationsreizen während des Gehens auf einem Laufband untersucht wurden (11). Aus dieser Studie geht hervor, dass lediglich die sensomotorisch trainierten älteren Menschen in der Lage waren, die Störreize nach dem Training mit verbesserter Bewegungskontrolle (erhöhte Reflexaktivitäten und reduzierte Winkelgeschwindigkeiten im Sprunggelenkskomplex) zu kompensieren. Zudem ist einer Vielzahl von Studien zu entnehmen, dass SMT im Alter zu leistungspositiven Anpassungen bei der Ausführung alltagsmotorischer Tests führt. Wolfson et al. (37) und Wolf et al. (35) berichten, dass SMT zu einer erhöhten Gehgeschwindigkeit und zu einer verbesserten Fähigkeit im Einbeinstand zu stehen, beiträgt. Den Studien von Williams et al. (34) und Forth

et Dall (6) ist zu entnehmen, dass Probanden nach einem SMT bessere Resultate bei der Ausführung von Tests zur Erfassung der Sturzgefahr im Alter erzielten. Hierbei fanden der „Tandem-Walk-Test“ (27) und der „Functional-Reach-Test“ (4) Anwendung.

Die vorliegenden Daten stützen bisherige Befunde, die zeigen, dass auch das neuromuskuläre System des älteren Menschen über ausreichend Plastizität verfügt, um auf geeignete Trainingsreize mit Anpassungserscheinungen der Maximal- und Explosivkraft zu reagieren. Entgegen der Studie von Judge et al. (20), die keine Veränderungen des maximalen Drehmoments bei Flexions-/Extensionsbewegungen des Hüft-, Knie- und Sprunggelenks und bei Ab- und Adduktionsbewegungen der Hüfte durch SMT feststellen konnten, führte SMT in der vorliegenden Untersuchung zu einem 13%-igen Zuwachs der Maximalkraft und zu einer 25%-igen Erhöhung der Explosivkraft (EXKmax). Ein möglicher Grund für die Diskrepanz dieser Ergebnisse ist vermutlich auf die unterschiedliche Funktionalität der durchgeführten Bewegung (eingelenkig isokinetisch vs. mehrgelenkig isometrisch) zurückzuführen.

Der ermittelte Zuwachs der Maximal- und Explosivkraft könnte sowohl auf muskuläre als auch auf neuronale Anpassungen zurückgeführt werden. In der bislang zur Verfügung stehenden Literatur wird jedoch ausschließlich von neuronalen Anpassungen an SMT berichtet (12, 13). Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass junge Probandenkollektive mit hohem Kraftniveau über einen Trainingszeitraum von vier Wochen untersucht wurden. Nach Moritani et al. (25) sind strukturelle Anpassungen des Muskels an Training erst ab einem Zeitraum von drei bis fünf Wochen zu erwarten. Diese Voraussetzung war in der vorliegenden Studie erfüllt (Trainingszeitraum = zwölf Wochen). Weiterhin wurden ältere Männer untersucht, die im Vergleich zu jungen über ein um bis zu 30% reduziertes Maximalkraftniveau verfügen (21). Aufgrund der dargestellten Unterschiede im Untersuchungsdesign, wird vermutet, dass neben neuronalen möglicherweise auch muskuläre Anpassungen für den beobachteten Zuwachs der Maximal- und Explosivkraft in Frage kommen.

Im Hinblick auf die neuronalen Anpassungen könnte eine verbesserte intramuskuläre Koordination die erhöhten Kraftwerte erklären. Auf der Grundlage der Studien von Meunier et al. (24) und Macefield et al. (22) vermuten Gruber et al. (12), dass SMT eine Reduktion der präsynaptischen Hemmung zu Beginn der Kraftentwicklung bewirkt. Aufgrund der reduzierten präsynaptischen Hemmung bei Kontraktionsbeginn entsteht eine reflektorisch generierte neuromuskuläre Antwort im Muskel, die sich auf die Kraftproduktion auswirkt. Die Autoren Gruber et al. (12) führen den trainingsinduzierten steileren Kraftanstieg und die höhere neuronale Aktivierung von Muskeln der Beinextensoren während der ersten 100 ms nach Beginn der Kraftentwicklung auf diesen abgeschwächten Inhibitionsmechanismus zurück. Neben Mechanismen auf spinaler Ebene werden auch Veränderungen der supraspinalen Kontrolle diskutiert, die möglicherweise für die verstärkte Aktivierung

der gelenkumgreifenden Muskulatur verantwortlich sind (14).

Sowohl eine Muskelquerschnittvergrößerung als auch eine verbesserte intramuskuläre Koordination nach SMT sollten jedoch mit einer erhöhten Aktivierung (MAV) der beteiligten Muskeln verbunden sein. Eine signifikante Zunahme der muskulären Aktivität war allerdings nur für den M. soleus und lediglich im Zeitfenster 100 ms vor und nach MVC zu beobachten. Die Ergebnisse dieser Studie und die Tatsache, dass für eingelenkige isokinetische Bewegungen keine Verbesserungen der Kraftfähigkeit beobachtet werden konnte (20), deuten darauf hin, dass beim älteren Menschen möglicherweise die Verbesserung der intermuskulären Koordination wesentlich zur schnelleren Kraftentwicklung nach SMT beiträgt.

Schlussbetrachtung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass SMT beim älteren Menschen die Maximal- und Explosivkraft erhöhen kann. Von einem funktionellen Standpunkt aus betrachtet ist eine verbesserte Explosivkraft sicherlich von größerer Bedeutung für die Vermeidung von Stürzen als eine erhöhte Maximalkraftfähigkeit. Dies lässt sich damit begründen, dass die Zeit bis zum Erreichen der Maximalkraft zu lange ist, um einen Sturz erfolgreich zu verhindern. Somit wirkt sich in Stolpersituationen die Fähigkeit schnell Kraft zu entwickeln effektiver auf die Vermeidung von Stürzen aus, als das Vermögen möglichst hohe Kraftwerte zu erzielen. In Verbindung mit einer verbesserten Gleichgewichtsfähigkeit ist dies eine weitere wichtige Voraussetzung für die präventive Wirkung von SMT im Hinblick auf die Vermeidung von Stürzen im Alter.

Literatur

1. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P: Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 93 (2002) 1318-1326.
2. Bruhn S, Kullmann N, Gollhofer A: The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and jump performance. *Int J Sports Med* 25 (2004) 56-60.
3. Bundesamt für Statistik: http://www.destatis.de/presse/deutsch/pk/2003/bev_2050b.htm (2003).
4. Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S: Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol* 45 (1990) 192-197.
5. Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ: High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA* 263 (1990) 3029-3034.
6. Forth K.E, Dall SRX: Proprioceptive balance training for elderly community dwellers. http://www.shaping-the-future.de/Pages/abstracts/abstract_175.htm (2000).
7. Frey I, Berg A, Grathwohl D, Keul J: Freiburg Questionnaire of physical activity - development, evaluation and application. *Soz Präventivmed* 44 (1999) 55-64.
8. Frontera WR, Hughes VA, Krivickas LS, Kim SK, Foldvari M, Roubenoff R: Strength training in older women: early and late changes in whole muscle and single cells. *Muscle Nerve* 28 (2003) 601-608.
9. Granacher U, Gollhofer A: Auswirkungen des Alterns auf die Schnellkraftfähigkeit und das Reflexverhalten - Ein Übersichtsbeitrag. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 3 (2005) 68-73.
10. Granacher U, Gollhofer A: Neuromuskuläre Leistungsfähigkeit im Alter - Ein Überblick. *Krankengymnastik - Zeitschrift für Physiotherapeuten* 9 (2005) 1316-1328.
11. Granacher U, Gollhofer A, Strass D: Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. *Gait and Posture* 24 (2006) 459-466.
12. Gruber M, Gollhofer A: Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol* 92 (2004) 98-105.
13. Gruber M, Gruber S, Taube W, Schubert M, Beck S, Gollhofer A: Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21 (2007) 274-282.
14. Gruber M, Schubert M, Gruber S, Taube W, Beck S, Amtage F, Gollhofer A: Spinal and Corticospinal Adaptations Following Sensorimotor Training. *Med Sci Sports Exerc* 37 (2005) 192.
15. Häkkinen K, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M: Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand* 171 (2001) 51-62.
16. Hauer K, Rost B, Rutschle K, Opitz H, Specht N, Bartsch P, Oster P, Schlierf G: Exercise training for rehabilitation and secondary prevention of falls in geriatric patients with a history of injurious falls. *J Am Geriatr Soc* 49 (2001) 10-20.
17. Izquierdo M, Aguado X, Gonzalez R, Lopez JL, Häkkinen K: Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 79 (1999) 260-267.
18. Izquierdo M, Häkkinen K, Anton A, Garrues M, Ibanez J, Ruesta M, Gorostiaga EM: Maximal strength and power, endurance performance, and serum hormones in middle-aged and elderly men. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 1577-1587.
19. Izquierdo M, Ibanez J, Gorostiaga E, Garrues M, Zuniga A, Anton A, Larrión JL, Häkkinen K: Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand* 167 (1999) 57-68.
20. Judge JO, Whipple RH, Wolfson LI: Effects of resistive and balance exercises on isokinetic strength in older persons. *J Am Geriatr Soc* 42 (1994) 937-946.
21. Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, Fleg JL, Fozard JL, Tobin J, Roy TA, Hurley BF: Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. *J Appl Physiol* 83 (1997) 1581-1587.
22. Macefield VG, Gandevia SC, Bigland-Ritchie B, Gorman RB, Burke D: The firing rates of human motoneurons voluntarily activated in the absence of muscle afferent feedback. *J Physiol* 471 (1993) 429-443.
23. Mayer F, Gollhofer A, Berg A: Krafttraining mit Älteren und chronisch Kranken. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 54 (2003) 88-94.
24. Meunier S, Pierrot-Deseilligny E: Gating of the afferent volley of the monosynaptic stretch reflex during movement in man. *J Physiol* 419 (1989) 753-763.
25. Moritani T, deVries HA: Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 58 (1979) 115-130.
26. Mynark RG, Kocaja DM: Down training of the elderly soleus H reflex with the use of a spinally induced balance perturbation. *J Appl Physiol* 93 (2002) 127-133.
27. Nelson ME, Fiatarone MA, Morganti CM, Trice I, Greenberg RA, Evans WJ: Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial. *JAMA* 272 (1994) 1909-1914.
28. Newton RU, Häkkinen K, Häkkinen A, McCormick M, Volek J, Kraemer WJ: Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 1367-1375.
29. Province MA, Hadley EC, Hornbrook MC, Lipsitz LA, Miller JP, Mulrow CD, Ory MG, Sattin RW, Tinetti ME, Wolf SL: The effects of exercise on falls in elderly patients. A preplanned meta-analysis of the FICSIT Trials. *Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques. JAMA* 273 (1995) 1341-1347.
30. Rubenstein LZ, Robbins AS, Schulman BL, Rosado J, Osterweil D, Josephson KR: Falls and instability in the elderly. *J Am Geriatr Soc* 36 (1988) 266-278.
31. Toole T, Hirsch MA, Forkink A, Lehman DA, Maitland CG: The effects of a balance and strength training program on equilibrium in Parkinsonism: A

- preliminary study. *NeuroRehabilitation* 14 (2000) 165-174.
32. Vandervoort AA: Aging of the human neuromuscular system. *Muscle Nerve* 25 (2002) 17-25.
33. Verfaillie DF, Nichols JF, Turkel E, Hovell MF: Effects of resistance, balance, and gait training on reduction of risk factors leading to falls in elders. *Journal of Aging and Physical Activity* 5 (1997) 213-228.
34. Williams HG, Burke JR, McClenaghan BA, Hirth V: Balance control: mechanisms of adaptation to sensory-motor integration training in the elderly. In: Huber G, ed. *Proceedings of Fourth International Congress on Healthy Aging, Activity and Sports*. Heidelberg: Health Promotion Publications (1997) 118-130.
35. Wolf SL, Barnhart HX, Ellison GL, Coogler CE: The effect of Tai Chi Quan and computerized balance training on postural stability in older subjects. Atlanta FICSIT Group. *Frailty and Injuries: Cooperative Studies on Intervention Techniques*. *Phys Ther* 77 (1997) 371-381.
36. Wolfson L, Whipple R, Derby C, Judge J, King M, Amerman P, Schmidt J, Smyers D: Balance and strength training in older adults: intervention gains and Tai Chi maintenance. *J Am Geriatr Soc* 44 (1996) 498-506.
37. Wolfson L, Whipple R, Derby C, Judge J, King M, Amerman P, Schmidt J, Smyers D: Balance and strength training in older adults: intervention gains and Tai Chi maintenance. *J Am Geriatr Soc* 44 (1996) 498-506.

Korrespondenzadresse:

Dr. Urs Granacher
Institut für Sport und Sportwissenschaften
Universität Basel
Brüglingen 33
4052 Basel
e-Mail: urs.granacher@unibas.ch