Der Stellenwert körperlicher Aktivität im Rahmen der Prävention von Sarkopenie und Frailty

Yves J. Gschwind, Reto W. Kressig

Yves J. Gschwind

Reto W. Kressig

Physiologische Veränderungen an Organen und Körperfunktionen sind integraler Bestandteil des Alterungsprozesses. Mit zunehmendem Alter nimmt beispielsweise die maximale Kraftgenerierung ab, was zu einer Abhängigkeit im Alltag sowie zu Morbidität und Mortalität führen kann. Der Alterungsprozess führt zu einem Muskelabbau (Sarkopenie), der zwischen dem 30. und 80. Lebensjahr bis zu 30 Prozent der ursprünglichen Muskelmasse betragen kann (1). Der daraus resultierende Kraftverlust ist meist mit Mobilitätsstörungen und zunehmender funktioneller Abhängigkeit verbunden (2), was unter ungünstigen Umständen beim älteren Menschen zur Einschränkung funktioneller Reserven, verminderter Stressresistenz und Gebrechlichkeit («Frailty») führt. Um einer solchen Entwicklung entgegenzuwirken und gleichzeitig die Lebensqualität zu verbessern oder zu erhalten, nehmen körperliche Aktivität (KA), Bewegung und Sport, kombiniert mit einer ausreichenden und ausgewogenen Ernährung, einen wichtigen Stellenwert ein.

Sarkopenie

In den vergangenen zwei Dekaden hat der Begriff Sarkopenie bei Ärzten und Forschern zunehmend an Bedeutung gewonnen (3). Die Sarkopenie wird gemeinhin als alters- und geschlechtsassoziierter Muskel- und Kraftverlust eines Individuums beschrieben (2, 4). In Zahlen bedeutet dies, dass rund 50 Prozent der über 80-Jährigen und 13 bis 24 Prozent der unter 70-Jährigen die Kriterien einer Sarkopenie erfüllen (5). Die Pathogenese der Sarkopenie ist multifaktoriell und kann sich als Einschränkung der Mobilität, Gleichgewichtsstörung, Beeinträchtigung des Gangbilds sowie als Funktionalitäts- und Unabhängigkeitsverlust im Alltag äussern (3, 6). Die Folgen sind schwerwiegend und reichen von einer neuromuskulären Beeinträchtigung und Stürzen über die Pflege- oder Heimunterbringung bis hin zur Hospitalisation.

Den altersabhängigen, physiologischen Veränderungen liegen zumeist eine Abnahme der Muskelproteinsynthese, hormonelle Veränderungen, mitochondriale Dysfunktion und Apoptose zugrunde (7–9). Die genannten Faktoren bewirken eine Abnahme der Skelettmuskelmasse, die oft mit einem reduzierten Aktivitätsniveau einhergeht, was wiederum den energetischen Grundumsatz reduziert. In der Folge nimmt die Körperfettmasse zu, und es kann eine folgenschwere Kombination von Sarkopenie und Übergewicht, die sogenannte «sarcopenic obesity», entstehen (7, 10).

Frailty

Der Begriff Frailty umschreibt ein geriatrisches Syndrom der verminderten Reserven und Resistenz des menschlichen Organismus gegenüber Stressoren (4). Ursache dafür sind kumulierende Verschlechterungen mehrerer physiologischer Systeme, die die Folgen von Erkrankungen und Verletzungen negativ beeinflussen (4, 11). Pathologisch liegen der Frailty zwei Konzepte zugrunde: Zum einen das Defizitmodell, das davon ausgeht, dass endokrine Faktoren, wie beispielsweise ein Mangel an Hormonen, Ursache der Gebrechlichkeit sind. Zum anderen das Exzessmodell, das oxidativen Stress und daraus resultierende Entzündungsvorgänge für die Frailty, die Sarkopenie und letztendlich das Altern per se verantwortlich macht (11).

Frailty kann als multidimensionales (physisch, psychologisch und soziologisch) geriatrisches Syndrom verstanden werden, das gegenüber dem eindimensionalen Ansatz der Sarkopenie eine grössere klinische Relevanz hat (4). Bis dato gibt es aber auch für Frailty keine einheitliche Definition oder Klassifizierung. Beispielhaft seien hier die friedschen Kriterien (12) erwähnt, die besagen, dass für die Diagnose von Frailty mindestens drei der folgenden Bedingungen erfüllt sein müssen: Gewichtsverlust, physische und psychische Erschöpfung, Schwäche, Re-

Gezieltes Krafttraining mit Theraband bei gebrechlichen älteren Personen.

duktion der Ganggeschwindigkeit und verminderte KA.

Bei fortgeschrittenem Alter wird es jedoch zunehmend schwieriger, Frailty gegenüber den zu erwartenden Alterungsprozessen und somit auch der Sarkopenie abzugrenzen (4). Aufgrund der Ähnlichkeit der Symptome von Frailty und Sarkopenie werden hier beide Begriffe trainingsspezifisch identisch behandelt.

Der Skelettmuskel als Kraftwerk

Wird ein Trainingsreiz genügend hoch und oft gesetzt, stellen sich im Laufe der Zeit, neben den neuronalen und metabolischen, auch strukturell-morphologische sowie anatomisch-physiologische Veränderungen der Skelettmuskulatur ein. Diese Veränderungen vermögen teilweise der Atrophie, der Sarkopenie und den daraus resultierenden Verlusten an Skelettmuskelkraft entgegenzuwirken (13).

Im menschlichen Organismus wird über den Glykogen/Glukose- und Fettstoffwechsel fortwährend Adenosintriphosphat (ATP) in den Mitochondrien synthetisiert, das für die Muskelkontraktion respektive die Querbrückenbildung der Aktin- und Myosinfilamente benötigt wird. Folglich ist für den Erhalt oder die Zunahme der körperlichen Leistungsfähigkeit die absolute Anzahl der Mitochondrien in der Skelettmuskulatur massgebend.

Primäres Ziel einer Bewegungsintervention soll somit die Steigerung der Mitochondriendichte im Skelettmuskel sein, die am akkuratesten mittels einer Muskelbiopsie über die Zunahme der Querschnittsfläche des Skelettmuskels (Hypertrophie) gemessen werden kann. Ferner sind das Herzschlagvolumen, die Anzahl Erythrozyten sowie die maximale Sauerstoffaufnahmekapazität (VO_{2max}) wichtige Determinanten der körperlichen Leistungsfähigkeit, auf deren Ausführung in diesem Kontext jedoch verzichtet wird.

Determinanten der körperlichen Leistungsfähigkeit

Um Erfolg oder Misserfolg einer Präventionsmassnahme bei Sarkopenie oder Frailty zu messen, kommt der Proteinsynthese eine Schlüsselrolle zu, da sie bei einer ungenügenden Aktivierung eine Reduktion der Proteinvorräte im Skelettmuskel zur Folge hat (3). Da die Proteinreserven ihrerseits der Skelettmuskelmasse gleichzusetzen sind und diese massgeblich die Mobilität, Stürze, arthrotische Probleme, Osteoporosefrakturen und den funktionellen Status beeinflussen, wäre eine Degradation der Proteinsynthese insbesondere im höheren Alter verhängnisvoll (13).

Die Proteinsynthese kann mittels geeigneter Trainingsreize und in Kombination mit einer zeitlich korrekt abgestimmten Proteineinnahme (min. 0,8 g/kg KG/Tag) gesteigert werden. Eine gesteigerte Proteinsynthese ist, neben weiteren trainingsinduzierten Faktoren, wie zum Beispiel durch die Mikrotraumata aktivierte Verschmelzung der Satellitenzellen mit den Muskelfasern, vornehmlich für das Zellwachstum im Skelettmuskel verantwortlich (14).

Hier gilt es festzuhalten, dass es neben einer Reduktion der Skelettmuskelmasse, eine Vielzahl von weiteren Einflussfaktoren gibt, die für die körperliche Leistungsfähigkeit massgebend sind. Als Beispiel hierfür nennen Clark und Manini (2) den neurologisch bedingten Kraftzuwachs nach Absolvierung der ersten Einheiten eines «Krafttrainingprogramms», der sich trotz ausbleibender morphologischer Veränderungen im Muskel einstellt. Grund dafür können Veränderungen im neuromuskulären System (bspw. Veränderungen im Rekrutierungsmuster oder der Synchronisation von motorischen Einheiten) sein, aber auch Veränderungen der Muskelarchitektur (verändertes Verhältnis zwischen Typ-I- und Typ-II-Muskelfasern), des Fiederungswinkels oder der Sehnensteifheit. Mit anderen Worten: Der alleinige Erhalt von Skelettmuskelmasse soll nicht als einziges Kriterium für eine wirksame präventive Bekämpfung des Kraftverlusts im Alter angesehen werden.

Trainingsindikation

Im Alter betrifft der Abbau der Muskelmasse hauptsächlich die schnellen Typ-II-Muskelfasern (9, 15). Die Typ-I-Muskelfasern, die eine geringere Mitochondriendichte aufweisen, bleiben erhalten und nehmen im Verhältnis zu den Typ-II-Muskelfasern zu. Zudem ist der altersbedingte Verlust an Skelettmuskelmasse bei den Männern stärker als bei den Frauen, die bereits in jüngeren Jahren über eine vergleichsweise verminderte absolute Skelettmuskelmasse verfügen (4). Diesen Umständen gilt es im Zusammenhang mit einer präventiven «Bewegungsintervention» besonders Rechnung zu tragen. Speziell für Frauen sollte deshalb spätestens ab 50 Jahren mit der Implementierung eines regelmässigen «Krafttrainingprogramms» begonnen werden.

Eine Möglichkeit dazu bietet ein intensives, progressives Skelettmuskelkrafttraining (KT) (10). Dabei sollte insbesondere auf die Qualität der Übungsausführung geachtet werden, um allfälligen Verletzungen vorzubeugen. Generell bewirkt das KT eine vermehrte Einlagerung kontraktiler Proteine, eine Hypertrophie des

Muskels und eine erhöhte VO_{2max} (10, 16). Ferner können anabole Hormone, Genexpression, Insulinresistenz, Dyslipidämie, Adipositas sowie neurologische und psychologische Faktoren, die allesamt die Lebensqualität beeinträchtigen, mittels KT positiv beeinflusst werden (13, 17). Offensichtlich kann durch KT nicht nur die oft beklagte Muskelschwäche bei älteren Personen verbessert, sondern auch das habituelle Aktivitätsniveau, wie Treppensteigen oder Gehen, gesteigert werden (10).

Verschiedene Trainingsinterventionen – Evidenz aus der Literatur

Als klassische Interventionsmöglichkeit hat sich das KT als effektive Methode zur Verlangsamung des Muskelmassenverlusts sowie zur Erhaltung und zum Aufbau der Muskelkraft etabliert (8). Stellvertretend dafür konnten Wieser und Haber (18) anhand eines klassischen KT an Geräten, mit Freihanteln und am Kabelzug, einen Anstieg der Maximalkraft um bis zu 38 Prozent bei über 70-Jährigen nachweisen. Interessanterweise ergab sich kein signifkanter Kraftunterschied zwischen zwei und drei Trainingseinheiten pro Woche, was für die langfristige Implementierung eines Trainingprogramms bei älteren Personen durchaus von Bedeutung ist.

Mit einem intensiven, multidimensionalen Trainingsprogramm (Kraft-, Gleichgewichts- und aerobes Training) konnten Binder et al. (19) bei älteren Personen mit sitzendem Lebensstil aufzeigen, dass sich Gleichgewicht, Kraft, Ausdauer und Beweglichkeit bei den Studienteilnehmern deutlich verbesserten. Ein Übersichtsartikel von Baker et al. (20) hebt ebenfalls die Effizienz eines multidimensionalen Ansatzes hervor und rückt dabei den positiven Effekt auf die Sturzprävention bei älteren Personen ins Zentrum.

In jüngster Vergangenheit hat sich das Forschungsinteresse im Zusammenhang mit KT vermehrt dem Training der Muskelschnellkraft («Power») zugewandt. Im Alterungsprozess verringert sich die Muskelschnellkraft (Kraft x Geschwindigkeit) gemäss de Vos et al. (21) schneller als die «rohe» Muskelkraft an sich. Der Verlust an Power könnte ein zusätzlicher Prädiktor für das Sturzrisiko, Gleichgewichtsschwierigkeiten oder den funktionellen Abbau im Alter sein (22). Tatsächlich ist bei drohendem Gleichgewichtsverlust eine erfolgreiche Korrekturbewegung zur Gleichgewichtswiedererlangung massgeblich von einer schnellstmöglich mobilisierbaren Muskelschnellkraft abhängig. Diesbezüglich konnten Orr et al. (23) aufzeigen, dass ein Powertraining mit leichten Gewichten und hoher Ausführungsgeschwindigkeit das Gleichgewicht bei 70-Jährigen zu verbessern vermag. Henwood et al. (22) verglichen gängiges KT und KT mit hoher Ausführungsgeschwindigkeit und erzielten dabei vergleichbare Verbesserungen der Kraft- und Powerkomponenten. Interessant diesbezüglich ist, dass diese Resultate beim KT mit hoher Ausführungsgeschwindigkeit trotz weniger Arbeit pro Trainingseinheit erreicht wurden.

Tai-Chi für gebrechliche Patienten.

Eine neue Alternative zum hochintensiven KT mit Gewichten bietet gemäss Bogaerts et al. (15) das Vibrationskrafttraining, auch Whole Body Vibration (WBV) genannt. In seiner Studie konnte bei über 60-jährigen Männern gezeigt werden, dass WBV zu einer Zunahme von Muskelmasse und isometrischer sowie explosiver Muskelkraft führte, die mit der eines multidimensionalen «Fitnesstrainings» (KT kombiniert mit kardiovaskulärem Training, Gleichgewichts- und Beweglichkeitstraining) vergleichbar war, das nach den Kriterien des American College of Sports Medicine (ACSM)-Kriterien aufgebaut war.

In Bezug auf KT bleibt jedoch offen, inwiefern sich «reine» Kraftgewinne auf die

Verbesserung der Funktionalität im Alltag ummünzen lassen. Eine Möglichkeit für die Messung der Funktionalität im Alter bietet beispielsweise der Physical-Functional-Performance-(PFP-)10 Test (24, 25). Gegenüber einer isolierten Kraftmessung an einer Maschine zeichnet sich ein solcher Test insbesondere durch ein alltagsnahes Setting aus, das älteren Personen vertraut ist und wichtige Alltagsaktivitäten (Activities of Daily Living, ADL, u.a. Boden wischen, Einkaufstaschen tragen, Waschmaschine ausräumen) beinhaltet.

Es bedarf nebst KT wohl weiterer Interventionsansätze, die vermehrt auch die Kognition in Kombination mit der motorischen Kontrolle berücksichtigen, um die funktionellen Beeinträchtigungen infolge Sarkopenie und Frailty ganzheitlich zu bekämpfen.

Diesbezüglich untersuchte eine Reihe von Studien funktionelle, physiologische und psychologische Variablen sowie Umwelteinflüsse, die für Frailty im Alter verantwortlich sind. Diese Projekte widmeten sich insbesondere der Erforschung neuer Interventionsansätze und wurden unter dem Titel «The Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques» (FICSIT) zusammengefasst. Ein besonders eindrückliches Resultat gelang dabei Wolf et al. (26), die bei über 70-Jährigen mit einer moderaten Tai-Chi-Intervention eine bessere Greifkraft, einen tieferen systolischen Blutdruck, weniger Sturzangst und eine beträchtliche Reduktion des Sturzrisikos (um 47,5%) gegenüber einer Kontrollgruppe mit Gleichgewichtstraining auf einer computerisierten Plattform nachweisen konnten. Zudem scheint Tai-Chi, neben einer reduzierten Sturzhäufigkeit, ebenfalls die posturale Stabilität und die Sturzangst bei älteren Personen zu verbessern (27).

Als Ergänzung zum KT bietet sich ausserdem das Jaques-Dalcroze-Rhythmiktraining mit vielfältigen Bewegungs- und Übungsvariationen zur improvisierten Pianomusik an. Die Methode Jaques Dalcroze offenbarte ihr Potenzial in einer Studie von Kressig et al. (28). Die Gangzyklusdauervariabilität bei Dual-Task-Aufgaben (ein Prädiktor für das Sturzrisiko) war bei älteren Damen, die über 40 Jahre ein Rhythmiktraining besucht hatten, gegenüber einer jungen Kontrollgruppe nicht signifikant verschieden. Offenbar bewirkt die über die Musik gezielt eingesetzte Frontalhirnstimulation eine Mobilisation von zerebralen Ressourcen und Reserven («Hirnplastizität»), die nicht nur kognitive, sondern auch motorische Vorteile mit sich bringen kann. Durch eine gezielte regelmässige Verbindung von Musik, Rhythmus und Bewegung liessen sich damit das motorische Gedächtnis stimulieren und Bewegungsabläufe im Alter aktiv erleichtern (29).

Tanzatelier in einem geriatrischen Spital.

Das «aerobe» Training ist eine weitere bedeutende Komponente der Prävention von Sarkopenie und Frailty. Das «aerobe» Training schützt vor Diabetes mellitus Typ II, erhöht die funktionelle Kapazität (10), verringert das Apoptosepotenzial (8) und schützt somit den Skelettmuskel. Bei älteren Personen ist wahrscheinlich eine moderate Trainingsintensität (ca. 50% der Herzfrequenzreserve) aufgrund einer besseren Compliance zu bevorzugen, zumal keine Unterschiede gegenüber einer höheren Intensität in Bezug auf Glukosetoleranz, Insulinsensitivität oder Muskel-GLUT-4-Levels bestehen (10). Wie dem auch sei, bevor nicht ein ausreichendes Kraft- und Gleichgewichtsniveau erreicht ist, wird aus Sicherheitsgründen von «aerobem» Training abgeraten (13).

Implementierung von Bewegung, KA und KT

Bewegung, KA und KT sind weit dehnbare Begriffe und deshalb nicht einfach auf ein universell anwendbares Trainingsprogramm umzumünzen. Generell ist ein Vergleich der einzelnen Trainingsprogramme oft schwierig, da grosse Unterschiede hinsichtlich einer Vielzahl von Trainingsvariablen bestehen (13, 20, 30):

- Motivation (intrinsische vs. extrinsische)
- Ort (zu Hause, im Alters- und Pflegeheim oder im Spital)
- Einzel- oder Gruppentraining
- Instruktion (angeleitet oder individuell)
- Ausgangsniveau (gesund, krank, multimorbid)
- Ernährungs- und Hydrationsstatus des Trainierenden
- Art, Dauer, Intensität, Volumen und Frequenz des Trainings
- Spezifität der Übungen
- Qualität (z.B. Ausführungsgeschwindigkeit)
- Auswahl, Variation und Reihenfolge der Übungen
- Erholung zwischen den einzelnen Übungen, Sätzen und Trainingseinheiten
- langfristige Compliance
- Equipment (u.a. betreffend Sicherheit)
- Selbstvertrauen und mentale Stärke des Trainierenden.

Für eine erfolgreiche Standardisierung und Individualisierung von Trainingsprogrammen ist die sinnvolle Kombination all dieser Trainingsvariablen eine grosse Herausforderung (6). Erschwerend kommen im hohen Alterssegment Einflussfaktoren wie Genetik, neuropsychologische Defizite, eine visuelle Beeinträchtigung, multiple und psychoaktive Medikation, Gleichgewichts- und Gangstörungen sowie Probleme mit Alltagsaktivitäten (ADL) hinzu (31).

Generell sollten in den Empfehlungen zur KA im Alter funktionelle «aerobe» Aktivitäten (z.B. Gehen) und Übungen, die eine

Steigerung der Skelettmuskelmasse und der Muskelkraft erwirken, kombiniert werden (13). In einem weiteren Schritt ist schliesslich auch die halb- oder ganzjährliche, saisonale Periodisierung von Trainingseinheiten in Makro-, Meso- und Mikrozyklen einzuplanen. Letztlich gilt es, älteren Menschen realisierbare Aktivitätsprogramme anzubieten, die Spass machen und damit die Teilnehmer regelmässig einbinden. Nur so kann von einer nachhaltig präventiven Wirkung ausgegangen werden.

Das ultimative Ziel für ein Individuum liegt schlussendlich in der Integration von Bewegung, KA und KT in den Alltag und somit weg von einer sitzenden Lebensweise hin zu einem aktiven Lebensstil.

Fazit

Prävention und Therapie der Sarkopenie und Frailty sind möglich und werden in einer demografisch alternden Gesellschaft zunehmend an Stellenwert gewinnen. Eckpfeiler zur Bekämpfung der mit Sarkopenie verbundenen funktionellen Beeinträchtigungen sind das KT (insbesondere Training der Muskelschnellkraft) mit aktiver Beteiligung der zerebral-motorischen Kontrolle (angewandte Formen wie Tai-Chi, Tanz, Rhythmik oder Better-Balance-Übungen [32]) und eine ausgewogene Ernährung mit ausreichender Protein- und Vitamin-D-Zufuhr.

Ganzheitlich ausgerichtete Bewegungsprogramme, die neben soziokulturellen und ökonomischen Aspekten auch Faktoren wie Spass, Attraktivität des Programms, soziale Austauschmöglichkeiten (z.B. ein gemeinsames Abendessen im Anschluss an das Training) und die aktive Unterstützung durch Familie und Hausarzt integrieren, haben hinsichtlich Nachhaltigkeit die grössten Erfolgschancen. Denn das wichtigste Kriterium bleibt die langfristige und regelmässige Trainingsteilnahme, die primär durch eine qualifizierte Kurs- oder Programmleitung bestimmt ist, aber auch vom Trainingsort, der Trainingslokalität und der dem Zielpublikum angepassten Tageszeit abhängt (33).

Zukünftige randomisierte und kontrollierte Forschungsprojekte werden weiter Aufschluss darüber geben müssen, wie die gemachten Bewegungs-, KA- und KT-Trainingsempfehlungen langfristig erfolgreich in verschiedensten Umfeldern (z.B. Primärprävention in Stadt und Land, Sekundärprävention in Spitälern, Alters- und Pflegeheimen) implementiert und praktisch umgesetzt werden können.

Korrespondenzadresse:
Yves J. Gschwind
Basel Mobility Center, Akutgeriatrie
Universitätsspital Basel
Schanzenstrasse 55
4031 Basel
E-Mail: YGschwind@uhbs.ch

Literatur:

1. Kressig RW, Proust J. Körperliche Aktivität und Alterungsprozess. Schweiz Med Wochenschr 1998; 128: 1181–1186.
2. Clark BC, Manini TM. Sarcopenia ≠ Dynapenia. J Gerontol 2008; 63 (8): 829–834.
3. Henderson GC, Iriving BA, Nair KS. Potential application of essential amino acid supplementation to treat sarcopenia in elderly people. J Clin Endocrinol Metab 2009; 94 (5): 1524–1526.
4. Bauer JM, Sieber CC. Sarcopenia and frailty: a clinician's controversial point of view. Exp Gerontol 2008; 43: 674–678.
5. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, Romero L, Heymsfield SB, Ross RR, Garry PJ, Lindeman RD. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. Am J Epidemiol 1998; 147: 755–763.
6. Latham NK, Anderson CS, Lee A, Bennett DY, Moseley A, Cameron ID. A randomized, controlled trial of quadriceps resistance exercise and vitamin D in frail older people: The Frailty Interventions Trail in Elderly Subjects (FITNESS). JAGS 2003; 51: 291–299.
7. Marzetti E, Lees HA, Wohlgemuth SE, Leeuwenburgh C. Sarcopenia of aging: underlying cellular mechanisms and protection by calorie restriction. Biochem Mol Bio Educ 2009; 35 (1): 28–35.
8. Dirks AJ, Leeuwenburg C. Der Einfluss von Alter und Training auf die Apoptose im Skelettmuskel. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005; 3: 62–67.
9. Mühlberg W, Sieber C. Sarcopenia and frailty in geriatric patients: implications for training and prevention. Z Gerontol Geriat 2004; 37: 2–8.
10. Evans WJ. Exercise training guidelines for the elderly. Med Sci Sports Exerc 1999; 31 (1): 15–24.
11. Sieber CC. Frailty: Ein geriatrisches Syndrom im Fokus der Ernährungsmedizin. Aktuel Ernaehr Med 2009; 34: 69–73.
12. Fried L, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, Seeman T, Tracy R, Kop WJ, Burke G, McBurnie MA, Cardiovascular Health Study Collaborative Research Group. Frailty in older adults: evidence of a phenotype. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2001; 56 (3): M134–135.
13. Fiatarone Singh MA. Exercise to prevent and treat functional disability. Clin Geriatr Med 2002; 18: 431–462.
14. Tegtbur U, Busse MW, Kubis HP. Körperliches Training und zelluläre Anpassung des Muskels. Unfallchirurg 2009; 112: 365–372.
15. Bogaerts A, Delecluse C, Claessens AL, Coudyzer W, Boonen S, Verschueren SMP. Impact of whole-body vibration training versus fitness training on muscle strength and muscle mass in older men: a 1-year randomized controlled trial. J Gerontol 2007; 62A (6): 630–635.
16. Tesch PA. Skeletal muscle adaptions consequent to long-term heavy resistance exercise. Med Sci Sports Exerc 1988; 20 (5 Suppl): S132–134.
17. Roth SM, Ferrell RF, Hurley BF. Strength training for the prevention and treatment of sarcopenia. J Nutr Health Aging 2000; 4 (3): 143–155.
18. Wieser M, Haber P. The effects of systematic resistance training in the elderly. Int J Sports Med 2007; 28: 59–65.
19. Binder EF, Schechtman KB, Ehsani AA, Steger-May K, Brown M, Sinacore DR, Yarasheski KE, Holloszy JO. Effects of exercise training on frailty in community-dwelling older adults: results of a randomized, controlled trial. JAGS 2002; 50: 1921–1928.
20. Baker M, Atlantis E, Fiatarone Singh MA. Multimodal exercise programs for older adults. Age and Ageing 2007; 36: 375–381.
21. de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinos TM, Orr R, Fiatarone Singh MA. Optimal load for increasing muscle power during explosive resistance training in older adults. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2005; 60 (5): 638–647.
22. Henwood TR, Riek S, Taaffe DR. Strength versus muscle power-specific resistance training in community-dwelling older adults. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2008; 63 (1): 83–91.
23. Orr R, de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinos TM, Fiatarone-Singh MA. Power training improves balance in healthy older adults 2006; 61 (1): 78–85.
24. Cress ME, Petrella JK, Moore TL, Schenkman ML. Continuous-scale physical functional performance test: validity, reliability, and sensitivity of data for the short version. Phys Ther 2005; 85 (4): 323–335.
25. Cress ME, Buchner DM, Questad KA, Esselman PC, deLateur BJ, Schwartz RS. Continuous-scale physical functional performance in healthy older adults: a validation study. Arch Phys Med Rehabil 1996; 77 (12): 1243–1250.
26. Wolf SL, Barnhart HX, Kutner NG, McNeely E, Coogler C, Ku T, Atlanta FICSIT Group. Selected as the best paper in the 1990s: Reducing frailty and falls in older persons: an investigation of Tai Chi and computerized balance training. JAGS 2003; 51: 1794–1803.
27. Kressig RW, Beauchet O, Tharicharu J. T'ai Chi chez les personnes âgées: aspects practiques. Revue médicale de la Suisse romande 2003; 123: 671–675.
28. Kressig RW, Allali G, Beauchet O. Long-term practice of Jaques-Dalcroze eurhythmics prevents age-related increase of gait variability under a dual task. JAGS 2005: 53 (4): 728–729.
29. Allali G, Winkelmann A, Lissner P-A, Hurry A, Beauchet O, Kressig RW. Un atelier de danse pour les personnes âgées à l'hôpital – Bouger avex plaisir. Geriatrie Practique 2004; 3: 32–34.
30. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibler BW, Kraemer WJ, Triplett NT. Progression models in resistance training for healthy adults. Med Sci Sports Exerc 2009; 687–708.
31. Sherrington C, Lord SR, Finch CF. Physical activity interventions to prevent falls among older people: update of the evidence. J Sci Med Sport 2004; 7 (1): 43–51.
32. Basel Mobilty Center. Better Balance! Universitätsspital Basel 2008; [Broschüre].
33. Winkelmann A, Gianadda R, Beauchet O, Kressig RW. La rythmique Jaques-Dalcroze – Une activité physique novatrice pour les personnes âgées. Geriatrie Practique 2005; 3: 52–55.