

Ganzkörpervibrationstraining bei Hämodialysepatienten – günstige Effekte vor allem bei eingeschränkten Körperfunktionen

L. Seefried¹, F. Genest¹, N. Luksche¹, M. Schneider^{1, 2}, M. Brandl², U. Bahner² und A. Heidland^{2, 3}

¹Orthopädisches Zentrum für Muskuloskeletale Forschung, Universität Würzburg, ²KfH-Nierenzentrum, Würzburg, ³Medizinische Klinik und Poliklinik I, Universität Würzburg

Schlüsselwörter

terminales Nierenversagen – Sarkopenie – Ganzkörpervibrationsstraining – körperliche Aktivität

Key words

maintenance hemodialysis – sarcopenia – exercise – whole body vibration

Ganzkörpervibrationstraining bei Hämodialysepatienten – günstige Effekte vor allem bei eingeschränkten Körperfunktionen

Zielsetzung: In der Therapie der muskuloskelettalen Defizite chronischer Dialysepatienten hat sich ein strukturiertes Ausdauer- und Krafttraining als besonderes erfolgreich erwiesen. Bei zahlreichen Kranken kann aber wegen gravierender klinischer Komplikationen sowie mangelnder Bereitschaft kein aktives Training durchgeführt werden. Vor diesem Hintergrund wurde in einem Pilotprojekt der Einfluss eines Ganzkörpervibrationsstrainings (GKVT) auf Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit, blutchemische Befunde und Verträglichkeit geprüft. **Methodik:** In der prospektiven Studie wurden 14 Patienten zweimal wöchentlich für die Dauer von 12 Wochen mit GKVT behandelt. Die Therapie erfolgte bei 8 Patienten vor und bei 6 Patienten nach der Hämodialyse. Primärer Endpunkt war die körperliche Leistungsfähigkeit, beurteilt anhand der Short Physical Performance Battery (SPPB). Diese errechnet sich aus der Summe von statischer Balance, Ganggeschwindigkeit bei einer vier Meter langen Gehstrecke und dem Chair-Rise-Test (5-mal). Zu den sekundären Endpunkten zählten neben körperlichen Funktionsparametern, die Bio-Impedanz-Analyse zur Messung der Körperzusammensetzung, biochemische Marker und die Beurteilung des Lebensstils. **Ergebnisse:** Im Vergleich zu den Ausgangswerten konnte nach der Trainingsperiode eine signifikante Verbesserung der SPPB festgestellt werden ($p = 0,035$). Nicht signifikante Verbesserungen ergaben sich im 6-Minuten-Gehstrecken-Test, im Timed Up and Go-Test, bei der Sprunghöhe, der Handgriffstärke, dem Skelettmuskelindex und der Alltagsaktivität. Patienten mit den ausgeprägtesten Funktionsstörungen profitierten am meisten von dem Training. Laborchemisch konnte eine Abnahme der Leukozyten und ein Trend zu niedrige-

ren Werten des hochsensitiven C-reaktiven Proteins (hs-CRP) festgestellt werden. Das GKVT wurde allgemein gut vertragen. Beim Training nach der Dialyse entwickelten zwei Patienten als Folge der Flüssigkeitsentfernung während der Dialyse eine passagere Hypotension. **Zusammenfassung:** Nach unserer Pilotstudie stellt GKVT eine sichere und effektive Methode zur Verbesserung der muskulären Defizite, für allem bei körperlich beeinträchtigten Dialysepatienten dar. Parameter der systemischen Inflammation zeigten einen Rückgang. Die Ergebnisse bedürfen aber sicher einer Bestätigung durch weitere Studien an größeren Patientengruppen.

Whole Body Vibration in hemodialysis patients – beneficial effects particularly in patients with impaired physical functions

Objective: Structured endurance and strength training is beneficial in the therapy of musculoskeletal disturbances for patients on maintenance hemodialysis (MHD). Due to severe clinical complications and lack of motivation an active training cannot be performed by many patients. Therefore, a pilot study was conducted to determine the effects of Whole Body Vibration Training (WBVT) on parameters of physical performance, blood chemistry and tolerability. **Methods:** In a prospective study 14 patients on MHD were treated 2-times per week for 12 weeks. 8 patients were treated before and 6 after hemodialysis. Primary endpoint was the physical performance, quantified by means of the Short Physical Performance Battery (SPPB) including balance test, usual gait speed and chair rise test (5-times). Secondary endpoints included 6-minute walk test, the timed up and go test, hand grip test, Bio-Impedance Analysis to measure body composition, blood chemical markers and physical activity parameters. **Results:** As compared to pre-treatment levels, a significant improve-

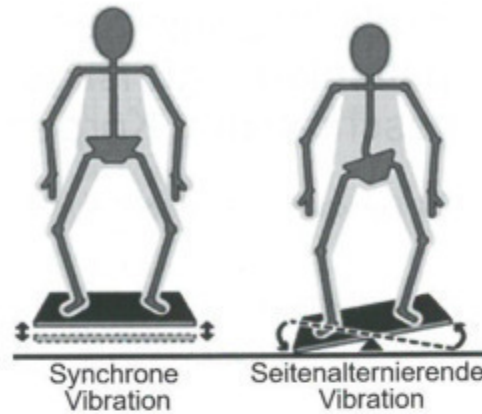


Abb. 1. Formen des Vibrationstrainings: synchron vs. seitenalternierend (modifiziert nach [22] mit Genehmigung).

Terminale Niereninsuffizienz ist oftmals durch verminderte Leistungsfähigkeit kompliziert

ment of SPPB values was detected after the training period ($p = 0.035$). Non-significant betterments were observed in 6-minute walk test, timed up and go test, jumping height, hand grip strength, skeletal muscle index and physical activity. Strongest improvements were observed in patients with particularly poor physical initial values. The blood investigation exhibited a decrease in the number of leukocytes and an insignificant reduction of high sensitive C-reactive protein (hs-CRP). The training was well tolerated if performed before dialysis. Training after hemodialysis resulted in 2 patients in a momentary decline of blood pressure due to the dialysis induced volume contraction. **Conclusion:** According to our pilot study, WBVT appears to be a safe and feasible method to improve muscle deficits, particularly in dialysis patients with marked functional impairments. Parameters of systemic inflammation improved. These results should be confirmed in further studies including larger patient cohorts.

Sarkopenie ist durch eine verminderte Muskelmasse und Muskelkraft mit konsekutiven Gang- und Gleichgewichtsstörungen charakterisiert [1]. Längerfristig manifestiert sich das Frailty-Syndrom mit Gebrechlichkeit, Gewichtsverlust und subjektiver Erschöpfung (mental, emotional und physisch).

Bei terminaler Niereninsuffizienz ist im höheren Alter ca. ein Drittel der Hämodialysepatienten von einer Sarkopenie betroffen [2, 3]. Wesentlich häufiger als der urämische Muskelschwund ist eine reduzierte Muskelkraft mit verminderter Leistungsfähigkeit, die mit erhöhter Mortalität assoziiert ist [3, 4].

Die urämische Myopathie manifestiert sich vor allem in den unteren Extremitäten

und ist typischerweise mit einer Typ 2-Faser-Atrophie verbunden [5]. In ultrastrukturellen Untersuchungen der Muskelfasern wurden eine reduzierte Kapillardichte, eine verminderte Mitochondrienzahl und eine Abnahme kontraktile Elemente festgestellt. Die Muskelfasern erschienen durch Flüssigkeitsgehalt verdickt, hervorgerufen durch gesteigerte Proteolyse und/oder reduzierte Proteinsynthese [6, 7]. Bei Niereninsuffizienz kommt es ferner zur intramuskulären Fettzellinfiltration, vermehrter Muskelfibrose und neuronalen Defiziten [8]. Ursachen der Muskeldysfunktion sind Urämietoxine, systemische Inflammation, oxidativer Stress, Kachexie (Protein-Energy Wasting), metabolische Azidose, Knochen- und Mineralstoffwechselstörungen und hormonale Faktoren (Insulinresistenz, Vitamin D-Mangel, sekundärer Hyperparathyreoidismus, Aktivierung des sympathiko-adrenalen Systems, erniedrigte Wachstumshormon-, IGF-1- und Testosteronkonzentrationen sowie erhöhte Glukokortikoid-Spiegel) [9].

Große Bedeutung haben neben höherem Lebensalter, die Begleit- und Folgeerkrankheiten des Nierenversagens, wie Herzinsuffizienz, periphere Durchblutungsstörungen, obstruktive Lungenerkrankungen, Infektionen und die urämische Neuropathie [4, 9, 10]. Als kritischer Risikofaktor muss besonders auf die häufige körperliche Inaktivität der Nierenkranken, vor allem an den Dialysetagen, hingewiesen werden [11, 12]. Die fatale Beziehung zwischen körperlicher Inaktivität und Morbidität/Mortalität wurde bereits früher mit dem Begriff des „Sedentary Death Syndroms“ [13] treffend charakterisiert.

Therapeutisch kommt neben Verbesserung einer Azidose, Anämie sowie metabolischer und hormonaler Störungen, der vermehrten körperlichen Aktivität eine Schlüsselrolle zu [14]. „Exercise is medicine“ ist ein Statement der American Heart Association [15]. Mit Recht wurde von Booth und Mitarbeitern früher gefordert „Waging War on Physical Inactivity“ [16]. Durch regelmäßiges Kraft- und Ausdauertraining konnte bei Dialysepatienten, vor allem bei kombiniertem Einsatz, eine Besserung der Muskelkraft und des Gleichgewichtsgefühls mit weniger Stürzen, eine höhere Insulinempfindlichkeit und Abnahme der Inflammation, des Eiweißkatabolismus sowie der

Ein aktives Trainingsprogramm scheitert häufig an Körperschwäche, Zeitmangel und fehlender Motivation

ultrastrukturellen Muskelveränderungen erzielt werden [6, 17, 18]. Beste Langzeitergebnisse wurden mit einem strukturierten Kraft- und Ausdauertraining während der Dialyse erreicht [19].

Bedauerlicherweise scheitert bei der Mehrzahl der Dialysepatienten ein systematisches Trainingsprogramm häufig an Körperschwäche, Zeitmangel, fehlender Motivation, Niedergeschlagenheit und schweren Begleitkrankheiten [20]. Wünschenswert sind deshalb Trainingsmethoden, die mit keiner größeren körperlichen Belastung verbunden sind.

Eine derartige Möglichkeit bietet das **Ganzkörper-Vibrationstraining** (GKVT) [21, 22]. Es erfordert kein wesentliches aktives Engagement der Probanden und ist mit nur geringem Zeitaufwand im räumlichen und zeitlichen Umfeld der Dialysebehandlung durchführbar. Die übende Person steht beim GKVT auf einer vibrierenden Platte. Die hierdurch ausgelösten Dehnreflexe der Muskelfasern führen zu schnellen reaktiven Kontraktionen der Bein- und Rumpfmuskulatur. Ab einer Frequenz von etwa 10 Hertz (Hz) erfolgen die Muskelkontraktionen nicht mehr willentlich, sondern reflexgesteuert. Die Intensität des GKVT wird bestimmt durch die Vibrationsfrequenz (Schwingungen pro Sekunde, angegeben in Hz) und durch die Amplitudenhöhe der Schwingungen, d.h. durch die Auslenkung der Plattform nach oben und unten.

Es werden zwei Vibrationsformen unterschieden: bei den synchron schwingenden Geräten besteht eine vertikale Auf- und Abwärtsbewegung der gesamten Trittpläche. Die seitenalternierenden Geräte funktionieren dagegen ähnlich einer Wippe und entsprechen mehr unseren physiologischen Bewegungsabläufen (Abb. 1). Bei einer Trainingsfrequenz von 25 Hz erfolgen somit pro Sekunde 25 Kontraktionszyklen der Streck- und Beugermuskulatur. Damit würde die Anzahl der Muskelkontraktionen eines 1-minütigen Trainings einer Gehstrecke von 3.000 Schritten entsprechen.

Im Unterschied zum herkömmlichen Training führt das GKVT zur Aktivierung von mehr Muskelfasern. Vorteilhaft ist insbesondere die Aktivierung der Typ II-Fasern, die vor allem für die Schnellkraft wichtig sind. Da keine wesentliche Herzkreislauf-

belastung erfolgt, können auch Personen mit erheblichen kardiovaskulären Einschränkungen ein solches Training absolvieren.

GKVT steigert neben Muskelkraft, Flexibilität und Gleichgewichtsempfinden [23, 24] auch die Knochenmineralisation und ist deshalb zur Prävention und Behandlung einer Osteoporose nützlich [25]. Die arterielle Gefäßwandsteifigkeit wird durch GKVT reduziert [26, 27]. Es besteht eine Zunahme der Gefäßdurchblutung [28, 29, 30]. Blutdruck und Herzfrequenz blieben in den meisten Untersuchungen unverändert [26, 27]. In Studien bei postmenopausalen Frauen [31] sowie bei übergewichtigen/adipösen Frauen [32] wurde über eine Blutdrucksenkung berichtet. In letzterer Gruppe verbesserte sich auch die sympathiko-vagale Balance. Bei Typ II-Diabetikern trat nach GKVT eine Senkung des Blutzuckerspiegels und des glykolisierten Hämoglobins auf [33, 34, 35]. Vibrationstraining wurde bereits seit Längerem in der Raumfahrt zur Verhinderung des Muskel- und Knochenschwundes, bedingt durch die Schwerelosigkeit, eingesetzt. Weitere Anwendungen finden sich im Breiten-, Leistungs- und Freizeitsport sowie in Fitness-Centern [21, 36].

Im medizinischen Bereich dient das Vibrationstraining in der Geriatrie der Erzielung einer besseren Muskelkraft, Koordination und Balance [37, 38, 39]. Unter den neurologischen Erkrankungen wurde bei Morbus Parkinson eine Besserung des Rigors und Tremors sowie des Gleichgewichtsgefühls vereinzelt festgestellt [40]. Bei Schlaganfallpatienten wurde eine Senkung der Spastik, ein verbessertes Kraftverhalten und schnellere Rehabilitation nachgewiesen [41]. Bedeutung kommt dem Vibrationstraining ferner in der Rehabilitation nach Immobilisation zu [42]. Bei Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz wurde 2017 in zwei Pilotstudien über eine Zunahme der Muskelkraft der unteren Extremitäten und der Lebensqualität berichtet. Neben unserer Arbeit [43] kam die Arbeitsgruppe von Doyle und Mitarbeitern [44] zu vergleichbaren Ergebnissen. Angesichts der Relevanz dieser Thematik für die große Zahl niereninsuffizienter Patienten möchten wir unsere Ergebnisse an dieser Stelle in ausführlicherer Form nunmehr im deutschsprachigen Schrifttum veröffentlichen.

Tab. 1. Klinische Charakteristika der 14 Hämodialysepatienten, die an der Studie teilnahmen.

	Mittelwert \pm Std.-Abw.	Spannweite
Alter (Jahre)	59 \pm 11	45 – 75
Geschlecht (m/w)	8/6	–
Größe (cm)	173 \pm 8	157 – 184
Gewicht (kg)	73,6 \pm 12,6	56 – 97
Body Mass Index (kg/m ²)	24,5 \pm 3,6	19 – 29
Dialyse-Dauer (Monate)	48 \pm 61	6 – 219
Nephrologische Grundkrankheiten		n
Chronische Glomerulonephritis		5
Polyzystische Nierendegeneration		3
Nephrosklerose		3
Refluxnephropathie		2
Diabetische Nephropathie		1
Co-Morbiditäten		n
Diabetes mellitus		1
Arterielle Hypertonie		14
Koronare Herzkrankheit		8
Vorhofflimmern		4
Periphere Atherosklerose		8
Zerebrovaskuläre Erkrankung		3
Sekundärer Hyperparathyreoidismus		12
Parathyroidektomie mit Autotransplantation		2



Abb. 2. Ganzkörpervibrationstraining einer Dialysepatientin unter physiotherapeutischer Aufsicht. Links: Ein-Beinstand (Frequenz 6 – 9 Hz) zum Balancetraining und Rechts: tiefe Kniebeuge (Frequenz: 22 – 28 Hz) für erhöhte Muskelkraft.

Material und Methodik

Die Studie erfolgte als prospektive nicht-randomisierte, monozentrische Untersuchung. Das Protokoll wurde von der Ethik-

kommission der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg genehmigt (Nr. 299/13).

Teilnehmer

Für die prospektive Pilotstudie wurden insgesamt 20 Hämodialysepatienten aus dem Würzburger KfH-Nierenzentrum rekrutiert. Einschlusskriterien waren ein Alter über 18 Jahre und eine Hämodialysebehandlung von mindestens 6 Monaten Dauer. Die Ausschlusskriterien umfassten die Kontraindikationen gegen Vibrationstraining, wie frische kardiovaskuläre Ereignisse, ein- oder beidseitige Beinamputation, Vorliegen einer frischen Thrombose, aktive Entzündungen des Bewegungsapparates, akute Hernien, akute Diskopathien bzw. ein akutes bandscheibenbedingtes Rückenproblem, das Vorhandensein künstlicher Gelenke in den zu trainierenden Körperregionen, Steinleiden der Gallenwege oder der ableitenden Harnwege, ferner Epilepsie und Schwangerschaft. Von allen Probanden wurde nach ausführlicher Information über Verlauf und Zielsetzung der Studie eine schriftliche Zustimmung eingeholt. Von den vorgesehenen 20 Patienten konnten 3 in das Trainingsprogramm nicht aufgenommen werden, weitere 3 beendeten die Studienteilnahme vorzeitig wegen Nierentransplantation, Verlegung in ein anderes Dialysezentrum und Operation eines frisch entdeckten Kollumkarzinoms.

Für die endgültige Analyse standen die Befunde von 14 Teilnehmern (8 Männern und 6 Frauen) im mittleren Alter von 59 (45 – 75) Jahren und einer mittleren Dialysedauer von 4 (0,5 – 18) Jahren zur Verfügung. Die Charakteristika der Patienten, einschließlich der nephrologischen Grundkrankheiten und klinischen Komplikationen, sind in Tabelle 1 dargestellt. Bei der Mehrzahl der Patienten bestanden multiple kardiovaskuläre Begleitstörungen (Hypertonie, koronare Herzkrankheit, periphere und cerebrale Atherosklerose sowie Vorhofflimmern). Medikamentös erhielten die Patienten neben Antihypertensiva (ACE-Hemmer oder AT1-Rezeptorblocker, β -Blocker und Schleifendiuretika), Phosphatbinder, Vitamin D3 und andere Vitamine, Cinacalcet wegen Hyperparathyreoidismus, Natriumbikarbonat und Erythropoietin.

Ganzkörper-Vibrationstraining erfordert kein wesentliches aktives Engagement der Probanden und ist mit geringem Zeitaufwand im räumlichen und zeitlichen Umfeld der Dialysebehandlung durchführbar

Intervention

Das Training erfolgte mit dem seitenalternierenden Vibrationsgerät (Galileo® Novotec Medical GmbH, Pforzheim) und basierte auf der individuellen körperlichen Leistungsfähigkeit. Diese wurde nach der Herstellerempfehlung anhand der Haltedauer einer 60-Grad Hüftbeuge bei 22 Hz auf der Vibrationsplatte bestimmt. Die Probanden wurden dann einem Trainingsprogramm mit unterschiedlicher Intensität bezüglich Frequenz, Amplitude und Zeitdauer zugeteilt. Unter Anleitung und Anwesenheit einer Aufsichtsperson wurde ein leichtes, mittelschweres und schweres Trainingsprogramm verordnet. Es begann mit dem **Ein-Beinstand** auf der Plattform zur Verbesserung von Balance und Koordination. Die Frequenz wurde alle 4 Wochen von initial 5 Hz über 7 Hz auf 9 Hz erhöht. Zur Stärkung der Beinmuskulatur wurde eine **Hockstellung mit einer beidseitigen Kniebeuge** von zunächst 30 Grad eingenommen mit Frequenzsteigerung im 4-Wochenintervall von 14 – 28 Hz aufwärts. Zur weiteren Muskelkrafteerhöhung dienten tiefe Kniebeugen auf 60 Grad mit Frequenzsteigerung im 4-Wochenintervall von 22 – 28 Hz (Abb. 2). Zur Kräftigung der Wadenmuskulatur diente der **Vorfußstand** mit gradueller Frequenzsteigerung von 22 – 28 Hz. Die drei Schwierigkeitsstufen gingen mit unterschiedlichen Amplituden einher, die graduell zunahm von 0,5 bis 1,5 mm in der leichten Form, 1,5 – 2,5 mm in der mittelschweren Form und 2 – 3 mm in der schweren Form.

Das Training erfolgte 2-mal wöchentlich für insgesamt 12 Wochen. Neben gradueller Intensitätszunahmen erfolgten Steigerungen der Zeit im 4-Wochen-Intervall. Auf jede Trainingsphase von 30 bis 60 Sekunden Dauer folgte eine Erholungszeit von 1 Minute. In den ersten 4 Wochen betrug die Trainingszeit 5 Minuten, in der 5. – 8. Woche 12,5 Minuten und in den letzten 8 – 12 Wochen 20 Minuten. Aus organisatorischen Gründen erfolgte das Training bei 8 Patienten vor Beginn der Dialysebehandlung und bei 6 Patienten nach Beendigung der Dialysebehandlung.

Untersuchte Funktionsparameter

Alle Teilnehmer wurden zu Beginn und am Ende der Studie eingehend physikalisch

untersucht. Zu den Parametern zählten Gewicht, Größe, Blutdruck, Herzfrequenz und Bestimmung der Fettmasse und des Skelettmuskelindex (SMI) mit der Bioelektrischen Impedanz-Analyse (BIA101 Anniversary, Fa. Akern, Italien). Der funktionelle Status der Teilnehmer wurde mit einer Testbatterie differenter körperlicher Leistungen geprüft. Dazu zählte als primärer Endpunkt die **Short Physical Performance Battery (SPPB)**, einer Testserie aus den drei Subtesten: Statische Balance, Ganggeschwindigkeit und Chair-Rise-Test. Die Einzelteste des SPPB wurden wie folgt durchgeführt:

- **Statische Balanceteste (Gleichgewicht):** Seit-zu-Seitstand, Semi-Tandem-Stand und Tandem-Stand für jeweils 10 Sekunden (Beurteilung des Gleichgewichtssystems).
- **Ganggeschwindigkeit:** notwendige Zeit beim Gehen einer 4 m langen Strecke in normalem Tempo.
- **Chair-Rise-Test (CRT):** Notwendige Zeit, um sich 5-mal so schnell wie möglich ohne Zuhilfenahme der Arme von einem Stuhl zu erheben und wieder zu setzen. Der Test informiert über Kraft und Ausdauer der unteren Extremitäten. Die Bewertung erfolgt jeweils ergebnisabhängig mit 1 – 4 Punkten, sodass der Maximalwert bei guter Leistung 12 Punkte beträgt und der Minimalwert bei 3 Punkten liegt. Null Punkte bestanden bei nicht-durchführbaren Testen.

Die sekundären Endpunkte umfassten:

- **6-Minuten-Gehstrecken-Test (6-MW):** Bestimmung der Wegstrecke, die bei normalem Tempo innerhalb von 6 Minuten zurückgelegt werden kann (Maß für die funktionelle Kapazität des Probanden).
- **Timed „Up and Go“ (TUG)-Test:** Erfassung der Zeit, die benötigt wird, um von einem Stuhl aufzustehen, zu einer 3 Meter entfernten Markierung zu gehen, dann zurückzukehren und sich anschließend wieder zu setzen.
- **Sprungkraftanalyse/Jumping Mechanography** (Leonardo-Platte, Novotec Medical Pforzheim): Bestimmung von Kraft und Leistung, die vom Probanden während eines beidbeinigen Sprunges aufgebracht werden (Single-two-leg jump/s2LJ).

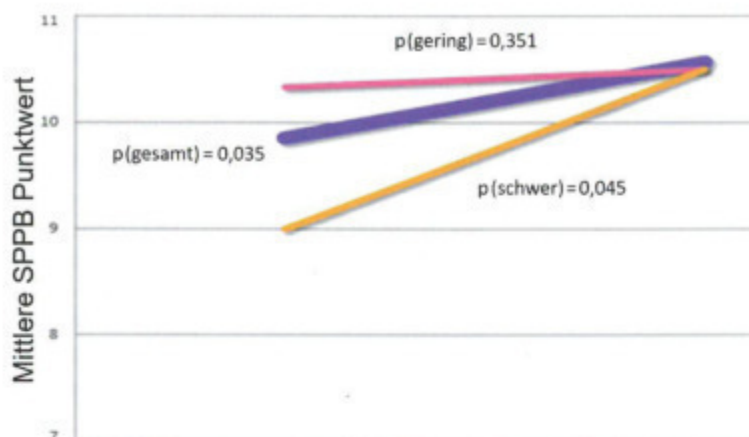


Abb. 3. Einfluss des Ganzkörpervibrations-trainings auf den Summenscore der Short Physical Performance Battery (SPPB). Blau: Signifikante Zunahme in der Gesamtgruppe von 9,86 auf 10,57 Punkte ($p = 0,035$, Anstieg um 7%). Gelb: Beste Resultate in der Subgruppe der körperlich schwer beeinträchtigten Kranken ($p = 0,045$, Anstieg um 16%). Rot: Ergebnisse bei den gering beeinträchtigten Dialysepatienten. Bewertungskriterien: „Gut“ 10 – 12, „Mittel“ 7 – 9, „Schwach“ < 6 Punkte.

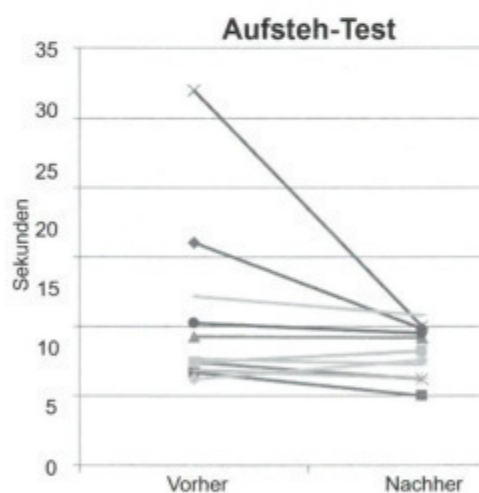


Abb. 4. Einzelwerte des Aufsteh-Tests (Chair-Rise-Tests) nach 5-maligem Aufstehen der 14 Patienten.

- **Handkraft:** Erlaubt Rückschlüsse auf die Gesamtmuskelkraft und korreliert bei Niereninsuffizienz mit der Lebenserwartung [45]. Die Messung der dominanten Hand erfolgte mit dem elektronischen Handkraftdynamometer (DynEx1 der Fa Akern, Italien).

Patientenverträglichkeit

Die Verträglichkeit des Trainings und die mögliche Beeinflussung der Stimmung und täglicher Aktivitäten wurde mit einem Fragebogen evaluiert. Verwendet wurden der Aktivitätsfragebogen GAPQ 50+, die sog. Falls Efficacy Scale (FES) zur Beurteilung der Sturz-Angst und die Geriatrische Depressionskala (GDS).

Biochemische Marker

Die Blutuntersuchungen erfolgten aus Proben, die vor Start und nach Ende der Trainingsstudie jeweils vor Dialysebeginn in der Wochenmitte gewonnen wurden. Serum und Plasma wurden sofern nicht sofort untersucht für weitere Untersuchungen bei -80°C eingefroren. Bestimmt wurden Blutbild, Kreatinin, Harnstoff, Harnsäure, Elektrolyte, alkalische Phosphatase, Glukose, HbA1c, Fette, Total-Protein und hoch-sensitives C-reactives Protein (hs-CRP).

Statistische Datenanalyse

Die Beeinflussung der Short Physical Performance Battery wurde als primärer Endpunkt der Studie angesehen. Die Endanalysewerte schlossen die Häufigkeit, Mittelwerte und Standardabweichungen ein. Veränderungen vom Ausgangswert wurden als Differenzen der Mittelwerte angegeben. Als statistisch signifikant galt ein $p < 0,05$ im t-Test für Paired Samples. Die Berechnungen erfolgten unter Benutzung des SPSS 23.0.

Ergebnisse

Kreislauf-Parameter

Bei der Auswertung der Ergebnisse von den 14 Teilnehmern zeigte sich nach 12-wöchigem GKVT für den systolischen Blutdruck eine insignifikante Abnahme von 131,4 auf 123,7 mm Hg und für den diastolischen Blutdruck von 82,6 auf 77,1 mm Hg. Die Herzfrequenz tendierte zur Zunahme von 71,4 auf 73,2/min.

Tab. 2. Verhalten von Blutdruck und Herzfrequenz sowie der physikalischen Messgrößen vor und nach dem GKVT.

	Vorher	Nachher	Änderung %	p-Wert
Systolischer Blutdruck (mm Hg)	131,4 ± 17,9	123,7 ± 10,8	-5,9	0,10
Diastolischer Blutdruck (mm Hg)	82,6 ± 9,8	77,1 ± 7,5	-6,7	0,06
Herzfrequenz (pro min)	71,4 ± 9,0	73,2 ± 8,9	+1,5	0,30
SPBB Summenscore (Punkte)	9,86 ± 1,1	10,57 ± 1,16	7,2	0,035
Balance-Test (Punkte)	3,43 ± 1,09	3,79 ± 0,58	10,4	0,55
Ganggeschwindigkeit (m/s)	1,28 ± 0,29	1,32 ± 0,29	3,5	0,21
Chair-Rise-Test (Zeit s)	10,93 ± 5,86	8,90 ± 3,41	-18,6	0,16
Timed Up and Go (s)	8,43 ± 2,98	8,10 ± 3,00	-3,9	0,18
Power/s2LJ (W/kg)	25,9 ± 10,2	26,7 ± 10,7	2,9	0,94
Sprunghöhe (cm)	23 ± 10	24 ± 11	2,2	0,84
Handgriffstärke (kg)	25,4 ± 12,6	26,0 ± 12,6	2,7	0,32
6-Minuten-Gehtest (m)	456 ± 120	473 ± 144	3,8	0,18
Skelettmuskel-Index (SMI), BIA (kg/m ²)	8,98 ± 1,80	9,29 ± 1,66	3,5	0,85

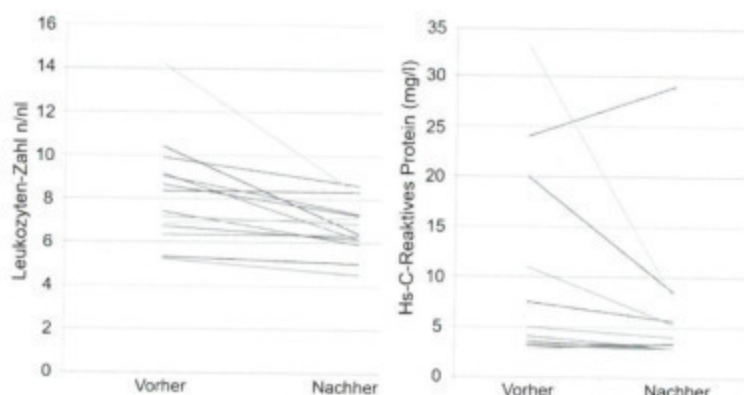


Abb. 5. Einzelwerte der Leukozyten (links) und des C-reaktiven Proteins (rechts) vor und nach dem GKVT.

Körperliche Leistungen

Der primäre Endpunkt der Studie, die SPPB, wies einen signifikanten Anstieg von 9,86 auf 10,57 Punkte auf ($p = 0,035$). In der Subgruppe der Patienten mit ausgepräg-

ten Leistungsdefiziten waren die Verbesserungen besonders eindrucksvoll, während bei den relativ gering beeinträchtigten Teilnehmern der Effekt wesentlich geringer war (Abb. 3).

Bezüglich der Einzelkomponenten des SPPB stellten wir eine marginale Änderung der Ganggeschwindigkeit fest. Relevante Besserungen traten beim Gleichgewichtsempfinden und noch ausgeprägter beim Chair-Rise-Test auf, wobei sich die Zeit von 10,93 auf 8,9 s verbesserte. Wie Abbildung 4 zeigt, bestanden die besten Ergebnisse bei Kranken mit deutlich eingeschränkter Leistung.

In den sekundären Endpunkten zeigte sich eine leichte Verbesserung der Zeit für den Timed Up and Go-Test, die von 8,43 s vor der Intervention auf 8,10 s am Ende zurückging ($p = 0,18$). In ähnlicher Weise ergab sich für den 6-Minuten-Gehstrecken-Test eine Zunahme der zurück gelegten Distanz von 456 auf 473 Meter.

Bei der Handkraftmessung kam es im Verlaufe der Behandlung ebenfalls zu einer geringen Besserung. Der Mittelwert stieg von 25,36 kg auf 26,04 kg am Ende der Studie an ($p = 0,33$).

Die Analyse der dynamischen Leistungsfähigkeit mit der Sprungkraft-Mechanographie ergab tendenziell verbesserte Werte. Beim Zwei-Bein-Sprung steigerte sich die relative Leistung von 25,91 W/kg auf 26,66 W/kg. Der sogenannte Esslinger-Fitness-Index besserte sich minimal von 82,46 auf 84,42 ($p = 0,61$). Diese Leistungseffekte erklären sich vor allem durch eine schnellere Geschwindigkeit der Bewegungsabläufe, während die für den Sprung aufgewendete Kraft im Wesentlichen unverändert blieb. Die Sprunghöhe verbesserte sich minimal von 23 auf 24 cm.

Erwartungsgemäß blieb das mittlere Körpergewicht der Teilnehmer im Vergleich zum Ausgangsniveau unverändert. Der mittlere Skelettmuskel Index (SMI) erhöhte sich von 8,98 auf 9,29 kg/m² ($p = 0,085$). Dies könnte ein Erfolg des Trainings sein (Tab. 2).

Subjektive Wahrnehmung des Trainings

Die Intervention wurde grundsätzlich gut vertragen und angenommen. Bei den

Tab. 3. Verhalten von Blutbild und blutchemischen Werten vor und nach dem GKVT.

	Vorher	Nachher	Änderung %	p-Wert
Haemoglobin	12 ± 0,9	11,8 ± 1,1	-2,1	0,27
Leukozyten (pro/nl)	8,2 ± 2,4	6,7 ± 1,2	-17,8	0,026
hs-C-reaktives Protein (mg/l)	9,0 ± 9,7	6,0 ± 0,9	-28,8	0,18
Kreatinin (mg/dl)	8,6 ± 2,9	8,5 ± 2,8	-1,8	0,45
Harnstoff (mg/dl)	135,1 ± 37,6	119,4 ± 35,7	-11,6	0,30
Anorganisches Phosphat (mmol/l)	2,0 ± 0,7	1,8 ± 0,5	-6,7	0,30
Alkalische Phosphatase (u/l)	81,1 ± 60,7	76,1 ± 59,3	-2,3	0,84
Glukose (mg/dl)	104,3 ± 24,8	97,8 ± 11,1	-6,2	0,42
HbA1c (Turb. %)	5,31 ± 0,38	5,33 ± 0,27	0,3	0,9
Total Protein (g/l)	64,3 ± 4,6	64,4 ± 5,8	+0,2	0,48

Ganzkörpervibrationstraining stellt nach unserer Pilot-Studie eine sichere und effektive Methode zur Verbesserung der muskulären Defizite, vor allem bei körperlich beeinträchtigten Dialysepatienten dar

6 Patienten, die das Vibrationstraining jeweils nach der Dialyse durchführten, trat bei 2 Teilnehmern ein passagerer Blutdruckabfall auf, wahrscheinlich begünstigt durch die dialyseinduzierte Volumenkontraktion. Ein Teilnehmer berichtete über Muskelschmerzen infolge des Vibrationstrainings, das nach einer 1-wöchigen Pause abklang. Die persönlich empfundene körperliche Leistungsfähigkeit und Stimmung der Teilnehmer besserte sich. Es ergaben sich jedoch insignifikante Zunahmen in den Kategorien des Aktivitätsfragebogens GPAQ50. Die Angst vor Stürzen in der FES ging gering von 20,0 auf 18,9 Punkte zurück. Der Mittelwert der geriatrischen Depressionsskala blieb mit Werten von 2,8 vorher und 2,7 Punkten nachher weitgehend unverändert.

Biochemische Analysen

Das Blutbild wies nach der 12-wöchigen Intervention eine signifikante Abnahme der Leukozyten von 8.200 auf 6.700 μ l auf ($p = 0,026$). Dieser Befund ging mit einer mittleren Abnahme des hochsensitiven (hs-)CRP von 9 auf 6 mg/l. parallel. Angesichts der kleinen Probandenzahl und der erheb-

lichen Variabilität der Einzelwerte war der Rückgang des hs-CRP nicht signifikant ($p = 0,18$) (Abb. 5).

Bei unverändertem Serum-Kreatinin wies der Harnstoff einen Trend zu niedrigeren Werten auf. Das Serum-Kalzium blieb konstant. Es bestanden aber minimale nicht-signifikante Abnahmen des anorganischen Phosphats und der alkalischen Phosphatase. Die Serumglukose ging minimal um 6% zurück, während der HbA1c-Wert unverändert blieb. Bei ebenfalls unverändertem HDL-Cholesterin bestand beim LDL-Cholesterin ein minimaler Rückgang von 106,7 auf 98,4 mg/dl. Weitere Angaben zur den Laborwerten finden sich in der Tabelle 3.

Diskussion

Nach 2-maligem GVVT pro Woche für die Dauer von 12 Wochen stellten wir für den primären Studienendpunkt, den SPPB Summen-Score, eine signifikante Verbesserung fest. Diese resultierte neben Besserung des Balancetests vor allem aus den guten Ergebnissen des Aufsteh-Tests. Die Beeinflussung der Gehgeschwindigkeit war nur gering. Diese Befunde legen nahe, dass das Vibrationstraining vor allem die Muskelkraft der Beine verbessert, die insbesondere durch den Aufsteh-Test beurteilt wird. Die sekundären Endpunkte zur Beeinflussung der körperlichen Leistungsfähigkeit einschließlich des Timed Up and Go-Tests und des 6-Minuten-Geh-Tests wiesen einen positiven Trend zur Besserung auf. Obwohl das Training vor allem die unteren Extremitäten betraf, fand sich eine tendenziell verbesserte Handkraft – möglicherweise ein Hinweis auf Zunahme der Gesamtkörperkraft. Entsprechend der moderaten Muskelbelastung beobachteten wir nur geringe Änderungen des Skelettmuskel-Indexes, der einen Trend zu höheren Werten zeigte.

Bemerkenswerterweise bestanden die ausgeprägtesten GKVT-Effekte bei den Kranken mit der geringsten körperlichen Leistungsfähigkeit. Diese Beobachtung entspricht früheren Befunden nach aktivem körperlichen Training bei schwer beeinträchtigten Patienten [46].

Ähnliche Verbesserungen der Beinkraft durch GKVT bei Dialysepatienten wurden

kürzlich von Doyle veröffentlicht [44]. In dieser Studie trainierten die Patienten über einen Zeitraum von 8 Wochen jeweils 3-mal wöchentlich für 3 Minuten. Zur Anwendung kam eine synchron vibrierende Vibrationsplatte.

Insgesamt unterstützen diese Ergebnisse das Konzept, dass GKVT eine effektive Interventionsmöglichkeit zur Besserung einer schlechten Muskelfunktion bei Niereninsuffizienz darstellt. In dieser Hinsicht entsprechen die Befunde den GKVT-Daten bei verschiedenen anderen Erkrankungen wie Morbus Parkinson [47], Schlaganfall [41] und bei älteren Personen [24, 37]. Besonders nützlich erwies sich das GKVT in der Verhinderung von inaktivitätsbedingten Muskelschädigungen [42].

Analog zum aktiven Training besitzt GKVT offenbar auch antiinflammatorische Wirkungen [48]. So stellten wir eine signifikante Abnahme der Leukozytenzahl und einen insignifikanten Rückgang der erhöhten hs-reaktiven Protein-Werte fest. Allerdings können wir die Möglichkeit spontaner Alterationen der Leukozytenzahl und der hs-CRP-Werte nicht ausschließen, da vor allem letztere bei Niereninsuffizienz einer hohen Variabilität unterliegen [49].

Bei Typ 2-Diabetikern trat nach GKVT eine Senkung des Blutzuckerspiegels [33, 34] und Abnahme des glykosylierten Hämoglobins auf [35]. In unseren Untersuchungen sahen wir bei der Nüchtern glukose eine Tendenz zu niedrigeren Werten, der HbA_{1c}-Wert blieb jedoch unbeeinflusst.

Im Vergleich zum konventionellem Ausdauer- und Krafttraining sind die kardiovaskulären Effekte der GKVT nur gering. Im Akutversuch wurde durch GKVT eine Zunahme der Blutfluss-Geschwindigkeit und Durchblutung in den Muskulatur und in den Beinen sowie eine Abnahme der arteriellen Gefäßwandsteifigkeit festgestellt [27, 28, 29, 30, 31, 32, 50]. Nach fortgesetztem Training kam es bei älteren Probanden zu einer verbesserten kardiovaskulären Funktion [38]. In den meisten Studien wurden Blutdruck und Herzfrequenz von der GKVT nicht beeinflusst. Bei übergewichtigen sowie postmenopausalen Frauen trat jedoch nach längerem GKVT eine Besserung der arteriellen Hypertonie und erhöhten Herzfrequenz auf [31, 32]. Übereinstimmend mit diesen Be-

funden beobachteten auch wir eine geringe Abnahme des systolischen und diastolischen Blutdruckes bei allerdings unveränderter Herzfrequenz.

Bei terminalem Nierenversagen sind die eingeschränkten Körperfunktionen sowie die systemische Inflammation mit einer erhöhten Mortalität assoziiert [51, 52, 53]. Deshalb ist es vorstellbar, dass bei Dialysepatienten nach einer Langzeitbehandlung mit GKVT und Persistenz der positiven Befunde eine verbesserte Lebenserwartung auftreten könnte.

Eine wesentliche Limitierung unserer Studie resultiert aus der kleinen Fallzahl und der fehlenden Kontrollgruppe. Deshalb sind größere Studien zu diesem Thema wünschenswert.

Danksagung

Besonderer Dank gilt Dr. Gholamreza Fazeli, Rudolf Virchow Zentrum, Uni Würzburg für die Unterstützung dieser Publikation. Die Studie erfolgte mit Unterstützung der Stiftung Zukunft Mensch, der Georg-Rexroth-Stiftung und der Bayerischen Forschungsförderung.

Interessenkonflikt

L. Seefried hat für die Studie ein Grant von Novotec Medical bekommen. A. Heidländ erhielt nach Fertigstellung der Arbeit eine Unterstützung für den Verein zur Bekämpfung der Hochdruck- und Nierenkrankheiten Würzburg e. V. F. Genest, N. Luksche, M. Schneider, M. Brandl und U. Bahner haben keine Interessenkonflikte.

Literatur

- [1] Muscaritoli M, Anker SD, Argilés J, Aversa Z, Bauer JM, Biolo G, Boirie Y, Bosaeus I, Cederholm T, Costelli P, Fearon KC, Laviano A, Maggio M, Rossi Fanelli F, Schneider SM, Schols A, Sieber CC. Consensus definition of sarcopenia, cachexia and pre-cachexia: joint document elaborated by Special Interest Groups (SIG) "cachexia-anorexia in chronic wasting diseases" and "nutrition in geriatrics". *Clin Nutr.* 2010; 29: 154-159.
- [2] Itoyama N, Qureshi AR, Avesani CM, Lindholm B, Bärány P, Heimbürger O, Cederholm T, Stenvinkel P, Carrero JJ. Comparative associations of muscle mass and muscle strength with

- mortality in dialysis patients. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2014; 9: 1720-1728.
- [3] Bataille S, Serveaux M, Carreno E, Pedinielli N, Darmon P, Robert A. The diagnosis of sarcopenia is mainly driven by muscle mass in hemodialysis patients. *Clin Nutr*. 2017; 36: 1654-1660.
- [4] Sietsema KE, Amato A, Adler SG, Brass EP. Exercise capacity as a predictor of survival among ambulatory patients with end-stage renal disease. *Kidney Int*. 2004; 65: 719-724.
- [5] Sawant A, Garland SJ, House AA, Overend TJ. Morphological, electrophysiological, and metabolic characteristics of skeletal muscle in people with end-stage renal disease: a critical review. *Physiother Can*. 2011; 63: 355-376.
- [6] Lewis MI, Fournier M, Wang H, Storer TW, Casaburi R, Koppie JD. Effect of endurance and/or strength training on muscle fiber size, oxidative capacity, and capillarity in hemodialysis patients. *J Appl Physiol* (1985). 2015; 119: 865-871.
- [7] Hörl WH, Heidland A. Enhanced proteolytic activity – cause of protein catabolism in acute renal failure. *Am J Clin Nutr*. 1980; 33: 1423-1427.
- [8] Sakkas GK, Kent-Braun JA, Doyle JW, Shubert T, Gordon P, Johansen KL. Effect of diabetes mellitus on muscle size and strength in patients receiving dialysis therapy. *Am J Kidney Dis*. 2006; 47: 862-869.
- [9] Stenvinkel P, Carrero JJ, von Walden F, Ikizler TA, Nader GA. Muscle wasting in end-stage renal disease promulgates premature death: established, emerging and potential novel treatment strategies. *Nephrol Dial Transplant*. 2016; 31: 1070-1077.
- [10] Mak RH, Ikizler AT, Kovesdy CP, Raj DS, Stenvinkel P, Kalantar-Zadeh K. Wasting in chronic kidney disease. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2011; 2: 9-25.
- [11] Avesani CM, Trolonge S, Deléaval P, Baria F, Mafra D, Faxén-Irving G, Chauveau P, Teta D, Kamimura MA, Cuppari L, Chan M, Heimbürger O, Fouque D. Physical activity and energy expenditure in haemodialysis patients: an international survey. *Nephrol Dial Transplant*. 2012; 27: 2430-2434.
- [12] Painter P, Clark L, Olausson J. Physical function and physical activity assessment and promotion in the hemodialysis clinic: a qualitative study. *Am J Kidney Dis*. 2014; 64: 425-433.
- [13] Lees SJ, Booth FW. Sedentary death syndrome. *Can J Appl Physiol*. 2004; 29: 447-460.
- [14] Koh KP, Fassett RG, Sharman JE, Coombes JS, Williams AD. Effect of intradialytic versus home-based aerobic exercise training on physical function and vascular parameters in hemodialysis patients: a randomized pilot study. *Am J Kidney Dis*. 2010; 55: 88-99.
- [15] Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD, Bauman A. American College of Sports Medicine; American Heart Association. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*. 2007; 116: 1081-1093.
- [16] Booth FW, Chakravarthy MV, Gordon SE, Spangenburg EE. Waging war on physical inactivity: using modern molecular ammunition against an ancient enemy. *J Appl Physiol* (1985). 2002; 93: 3-30.
- [17] Houmard JA, Tanner CJ, Slentz CA, Duscha BD, McCartney JS, Kraus WE. Effect of the volume and intensity of exercise training on insulin sensitivity. *J Appl Physiol* (1985). 2004; 96: 101-106.
- [18] Daul AE, Schäfers RF, Daul K, Philipp T. Exercise during hemodialysis. *Clin Nephrol*. 2004; 61 (Suppl 1): S26-S30.
- [19] Anding K, Bär T, Trojniak-Hennig J, Kuchinke S, Krause R, Rost JM, Halle M. A structured exercise programme during haemodialysis for patients with chronic kidney disease: clinical benefit and long-term adherence. *BMJ Open*. 2015; 5: e008709.
- [20] Delgado C, Johansen KL. Barriers to exercise participation among dialysis patients. *Nephrol Dial Transplant*. 2012; 27: 1152-1157.
- [21] Rittweger J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol*. 2010; 108: 877-904.
- [22] Rauch F, Sievanen H, Boonen S, Cardinale M, Degens H, Felsenberg D, Roth J, Schoenau E, Verschuren S, Rittweger J; International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. Reporting whole-body vibration intervention studies: recommendations of the International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2010; 10: 193-198.
- [23] Ritzmann R, Kramer A, Bernhardt S, Gollhofer A. Whole body vibration training – improving balance control and muscle endurance. *PLoS One*. 2014; 9: e89905.
- [24] Sitjà Rabert M, Rigau Comas D, Fort Vanmeerhaeghe A, Santoyo Medina C, Roqué i Figuls M, Romero-Rodríguez D, Bonfill Cosp X. Whole-body vibration training for patients with neurodegenerative disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2012; CD009097.
- [25] Dionello CF, Sá-Caputo D, Pereira HV, Sousa-Gonçalves CR, Maiworm AI, Morel DS, Moreira-Marconi E, Paineiras-Domingos LL, Bemben D, Bernardo-Filho M. Effects of whole body vibration exercises on bone mineral density of women with postmenopausal osteoporosis without medications: novel findings and literature review. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2016; 16: 193-203.
- [26] Lai CL, Chen HY, Tseng SY, Liao WC, Liu BT, Lee MC, Chen HS. Effect of whole-body vibration for 3 months on arterial stiffness in the middle-aged and elderly. *Clin Interv Aging*. 2014; 9: 821-828.
- [27] Otsuki T, Takanami Y, Aoi W, Kawai Y, Ichikawa H, Yoshikawa T. Arterial stiffness acutely decreases after whole-body vibration in humans. *Acta Physiol (Oxf)*. 2008; 194: 189-194.
- [28] Fuller JT, Thomson RL, Howe PR, Buckley JD. Effect of vibration on muscle perfusion: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2013; 33: 1-10.
- [29] Button C, Anderson N, Bradford C, Cotter JD, Ainslie PN. The effect of multidirectional mechanical vibration on peripheral circulation of humans. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2007; 27: 211-216.

- [30] Lythgo N, Eser P, de Groot P, Galea M. Whole-body vibration dosage alters leg blood flow. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2009; 29: 53-59.
- [31] Figueroa A, R Kalfon, T A Madzima and A Wong. Whole-body vibration exercise training reduces arterial stiffness in postmenopausal women with prehypertension and hypertension. *Meno-pause*. 2014; 21: 131-136.
- [32] Figueroa A, Gil R, Wong A, Hooshmand S, Park SY, Vicil F, Sanchez-Gonzalez MA. Whole-body vibration training reduces arterial stiffness, blood pressure and sympathovagal balance in young overweight/obese women. *Hypertens Res*. 2012; 35: 667-672.
- [33] Baum K, Votteler T, Schiab J. Efficiency of vibration exercise for glycemic control in type 2 diabetes patients. *Int J Med Sci*. 2007; 4: 159-163.
- [34] del Pozo-Cruz B, Alfonso-Rosa RM, del Pozo-Cruz J, Sañudo B, Rogers ME. Effects of a 12-wk whole-body vibration based intervention to improve type 2 diabetes. *Maturitas*. 2014; 77: 52-58.
- [35] Lee K, Lee S, Song C. Whole-body vibration training improves balance, muscle strength and glycosylated hemoglobin in elderly patients with diabetic neuropathy. *Tohoku J Exp Med*. 2013; 231: 305-314.
- [36] Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev*. 2003; 31: 3-7.
- [37] Bautmans I, Van Hees E, Lemper JC, Mets T. The feasibility of Whole Body Vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility: a randomised controlled trial [ISRCTN62535013]. *BMC Geriatr*. 2005; 5: 17.
- [38] Bogaerts ACC, Delecluse C, Claessens AL, Troosters T, Boonen S, Verschueren SM. Effects of whole body vibration training on cardiorespiratory fitness and muscle strength in older individuals (a 1-year randomised controlled trial). *Age Ageing*. 2009; 38: 448-454.
- [39] Perchthaler D, Grau S, Hein T. Evaluation of a six-week whole-body vibration intervention on neuromuscular performance in older adults. *J Strength Cond Res*. 2015; 29: 86-95.
- [40] Lau RW, Teo T, Yu F, Chung RC, Pang MY. Effects of whole-body vibration on sensorimotor performance in people with Parkinson disease: a systematic review. *Phys Ther*. 2011; 91: 198-209.
- [41] van Nes LJJ, Latour H, Schils F, Meijer R, van Kuijk A, Geurts AC. Long-term effects of 6-week whole-body vibration on balance recovery and activities of daily living in the postacute phase of stroke: a randomized, controlled trial. *Stroke*. 2006; 37: 2331-2335.
- [42] Blottner D, Salanova M, Püttmann B, Schiffel G, Felsenberg D, Buehring B, Rittveger J. Human skeletal muscle structure and function preserved by vibration muscle exercise following 55 days of bed rest. *Eur J Appl Physiol*. 2006; 97: 261-271.
- [43] Seefried L, Genest F, Luksche N, Schneider M, Fazeli G, Brandl M, Bahner U, A Heidland A. Efficacy and safety of whole body vibration in maintenance hemodialysis patients – A pilot study. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2017; 17: 268-274.
- [44] Doyle A, Chalmers K, Chinn DJ, McNeill F, Dall N, Grant CH. The utility of whole body vibration exercise in haemodialysis patients: a pilot study. *Clin Kidney J*. 2017; 10: 822-829.
- [45] Matos CM, Silva LF, Santana LD, Santos LS, Protásio BM, Rocha MT, Ferreira VL, Azevedo MF, Martins MT, Lopes GB, Lopes AA. Handgrip strength at baseline and mortality risk in a cohort of women and men on hemodialysis: a 4-year study. *J Ren Nutr*. 2014; 24: 157-162.
- [46] Painter P, Carlson L, Carey S, Paul SM, Myll J. Low-functioning hemodialysis patients improve with exercise training. *Am J Kidney Dis*. 2000; 36: 600-608.
- [47] Turbanski S, Haas CT, Schmidbleicher D, Friedrich A, Duisberg P. Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Res Sports Med*. 2005; 13: 243-256.
- [48] Rodriguez-Miguel P, Fernandez-Gonzalo R, Collado PS, Almar M, Martinez-Florez S, de Paz JA, González-Gallego J, Cuevas MJ. Whole-body vibration improves the anti-inflammatory status in elderly subjects through toll-like receptor 2 and 4 signaling pathways. *Mech Ageing Dev*. 2015; 150: 12-19.
- [49] Cobo G, Qureshi AR, Lindholm B, Stenvinkel P. C-reactive Protein: Repeated Measurements will Improve Dialysis Patient Care. *Semin Dial*. 2016; 29: 7-14.
- [50] Kersch-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, Imhof H. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol*. 2001; 21: 377-382.
- [51] Pavaresi R, Guralnik J, Brown JC, di Bari M, Cesari M, Landi F, Vaes B, Legrand D, Verghese J, Wang C, Stenholm S, Ferrucci L, Lai JC, Bares AA, Espauella J, Ferrer M, Lim JY, Ensrud KE, Cawthon P, Turusheva A, et al. Short Physical Performance Battery and all-cause mortality: systematic review and meta-analysis. *BMC Med*. 2016; 14: 215.
- [52] Roshanravan B, Robinson-Cohen C, Patel KV, Ayers E, Littman AJ, de Boer IH, Ickizer TA, Himmelfarb J, Katzell LI, Kestenbaum B, Seliger S. Association between physical performance and all-cause mortality in CKD. *J Am Soc Nephrol*. 2013; 24: 822-830.
- [53] Kutner NG, Zhang R, Huang Y, Painter P. Gait speed and mortality, hospitalization, and functional status change among hemodialysis patients: A U.S. renal data system special study. *Am J Kidney Dis*. 2015; 66: 297-304.



Dr. med. Lothar Seefried
Orthopädisches Zentrum
für Muskuloskeletale Forschung
Universität Würzburg
Brettreichstrasse 11
97074 Würzburg
l-seefried.klh@uni-wuerzburg.de