

Vibrotaktiler Neurofeedbacktraining mit dem Vertiguard®-RT-System

Placebokontrollierte Doppelblind-Pilot-Studie zur Rehabilitation von Gleichgewichtsstörungen

Die Aufrechterhaltung der Körperbalance und die Kontrolle der Willkürmotorik werden beim Gesunden mithilfe von sensorischen Informationen in einem engen Regelbereich gewährleistet. Wird dieser sensorische Input reduziert, nimmt die vestibuläre Leistungsfähigkeit drastisch ab. Patienten mit dauerhaft reduziertem sensorischem Input verfügen deshalb über sehr viel schlechtere Gleichgewichtsleistungen, wodurch sich das Risiko zu stürzen erhöht. Das ist insbesondere der Fall, wenn eine Schädigung der Gleichgewichtsorgane, eine reduzierte Somatosensorik (Propriozeption) oder ein verringerter visueller Input vorliegt. Aufgrund natürlicher Degenerationsprozesse kommen beim älteren Patienten oft alle genannten Faktoren zusammen [25]. Durch die zunehmende Alterung unserer Gesellschaft ist das ein ernsthaftes epidemiologisches Problem. Die Folge sind häufige Stürze. So konnte gezeigt werden, dass etwa 10% der Stürze bei älteren Frauen und Männern behandlungsbedürftige Verletzungen nach sich ziehen (Übersicht in [9]).

Das Leitsymptom Schwindel und das damit verbundene erhöhte Sturzrisiko ist jedoch auch bei jüngeren Menschen ein häufiges Problem. Eine Untersuchung konnte nachweisen, dass 22,4% der Männer und 36,2% der Frauen unter 60 Jahren mindestens einmal im Jahr Schwindelsymptome beklagen [13].

Neben den pathophysiologischen Untersuchungen zum Sturzhergang (z. B. [3, 6, 11]) ist auch die Suche nach Risikofaktoren und die Entwicklung rehabilitativer Strategien ein derzeit sehr aktuelles Thema [2, 8, 9, 15, 18]. Dabei ist das Ziel, eine mehr oder weniger komplette vestibuläre Rehabilitation zu erreichen (vestibuläre Kompensation; [10]). Diese Erholungsvorgänge werden meist durch nicht-vestibuläre, aber mit dem vestibulären System kooperierende Sinneseindrücke (z. B. visuelle oder propriozeptive) unterstützt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sind spezielle Behandlungsverfahren i. S. eines vestibulären Trainings zur Förderung der zentralvestibulären Kompensation entwickelt worden. So gibt es z. B. Trainingsprogramme, die verschiedene Balanceaufgaben [19] oder spezielle Tai-Chi-Übungen [12] verwenden. Bei anderen Methoden befindet sich der Patient in einem Simulator, mit dessen Hilfe Übungen in einer virtuellen (visuellen) Realität durchgeführt werden [14, 23].

In den letzten Jahren haben sich verschiedene medizinisch-wissenschaftliche und medizintechnische Versuche etabliert, um Gleichgewichtsstörungen mit technischen Hilfen zu rehabilitieren. Die besonders aktuellen Neurofeedbacksysteme verwenden einen nichtvestibulären Stimulus (taktile [24], galvanisch [21] oder auditorisch [4]), um dem Patienten Abweichungen aus der Körperrichtungsabweichung zu signalisieren und dadurch eine Kor-

rekturbewegung einzuleiten. Der Erfolg eines solchen Verfahrens scheint neben der richtigen Applikation und Auswahl des Feedbacksignals maßgeblich von den spezifischen Trainingsparametern abzuhängen. Besonders viel versprechend ist ein Training in alltagsrelevanten Gleichgewichtssituationen [2, 4]. Als Idealvorstellung kann dabei ein Trainingsprogramm angesehen werden, das gezielt auf die individuellen Defizite des jeweiligen Patienten abgestimmt ist. Außerdem sollte der Feedbackstimulus möglichst kaum die Wahrnehmung von Umweltreizen stören oder beeinflusst (z. B. nicht akustisch oder visuell). Es wäre wünschenswert, dass ein Feedbacksignal intuitiv die Korrektur der Körperhaltung bewirkt und so die Reaktionszeit verringert sowie die Trainingseffizienz optimiert.

Ziel der hier vorgestellten Studie war es deshalb, die therapeutischen Möglichkeiten eines neuartigen vibrotaktilen Neurofeedbacksystems an Patienten mit Gleichgewichtsstörungen unterschiedlicher Genese hinsichtlich der genannten Anforderungen im Rahmen einer Pilotstudie zu untersuchen.

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Insgesamt wurden 36 Patienten in die Studie eingeschlossen. Das Patientenkollektiv enthielt jeweils 6 Patienten mit einer chro-



Abb. 1 ◀ Vertiguard®-System bei der Rehabilitation der posturalen Kontrolle in alltagsrelevanten Gleichgewichtskonditionen (z. B. Laufen). Unten Gerät am Hüftgurt bei der Anwahl der individuellen Trainingsoptionen

nischen, nicht kompensierten Gleichgewichtsstörung folgender Genese:

- einseitiger Ausfall der Otolithenorgane (Oo): keine cVEMP-Amplitude (zervikale vestibulär evozierte myogene Potenziale; Sacculusstörung), fehlerhafte Einschätzung der visuellen Vertikale während exzentrischer Rotation (Utriculusstörung);
- einseitige Funktionsstörung des Labyrinths (Bogengänge, BG): während der thermischen Stimulation beträgt die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase in der Kulminationsphase $<10^\circ/\text{s}$ oder eine Seitendifferenz von mehr als 15% liegt vor;
- Leitungsstörung im Bereich des N. vestibularis
 - infolge einer mikrovaskulären Kompression des VIII. Hirnnervs durch eine AICA-Schlinge (A. cerebelli inferior anterior; MVKS; sichtbar in der 2-D-Angiographie) oder
 - nach Exstirpation eines Akustikusneurinoms mit Resektion des N. vestibularis (EAKN);
- Altersschwindel: multifaktorieller Schwindel bei älteren Patienten (über 60 Jahre) mit unauffälligen Befunden in der vestibulären Funktionsdiagnostik (AS; [17]).

Zusätzlich wurden 6 Patienten als Kontrollgruppe aus dem Gesamtkollektiv herausgelöst. Die Zuordnung zur Trainingsgruppe oder zur Kontrollgruppe war weder den Patienten noch den medizinisch-technischen Assistentinnen bekannt, die das Training anleiteten (Doppelblind-Design).

Bei allen Patienten waren das Beschwerdebild sowie der funktionsdiagnostische Befund über mindestens 12 Monate unverändert (chronische, nicht kompensierte Gleichgewichtsstörung).

Am Anfang jedes Trainings wurde ein Standard-Balance-Defizit-Test (SBDT) bzw. bei älteren Patienten (ab 60 Jahren) ein geriatrischer Standard-Balance-Defizit-Test (gSBDT) durchgeführt. Dieser Test ermöglicht eine Körperschwankungsanalyse in alltagsrelevanten Gleichgewichtssituationen (Stand- und Gangtests) und trägt so zur Identifikation von individuellen Defiziten der posturalen (Körper-)Kontrolle bei.

Der Test enthält die folgenden 14 sensorischen Situationen:

- Stehen auf 2 Beinen (Augen offen/Augen geschlossen)
- Stehen auf einem Bein (Augen offen/Augen geschlossen)
- 8 Tandemschritte (Augen offen)

- Stehen auf 2 Beinen auf Schaumstoff (Augen offen/Augen geschlossen)
- Stehen auf einem Bein auf Schaumstoff (Augen offen)
- 8 Tandemschritte auf Schaumstoff (Augen offen)
- Laufen 3 m, Kopf rotierend (einmal je Schritt)
- Laufen 3 m, Kopf nickend (einmal je Schritt)
- Laufen 3 m (Augen offen/Augen geschlossen)
- Laufen über 4 Hindernisse (24 cm hoch, Abstand 1 m)

Beim gSBDT wurden muskulär anspruchsvolle Aufgaben (z. B. Einbeinstand auf Schaumstoff) durch typisch geriatrische Screeningaufgaben (Hinsetzen, Aufstehen) ersetzt.

Während des Tests wurden mithilfe des Vertiguard®-Systems (Fa. Vesticure® GmbH, Pforzheim) die Körperschwankungen am Körperschwerpunkt (Hüfte) registriert. Das an einem Hüftgürtel befestigte Gerät hat dazu über 2 zueinander orthogonal ausgerichtete Gyroskope (Auflösung $0,018315^\circ/\text{s} - 14$ Bit, Sampling-Rate 80 Hz) die Körperschwankung fortlaufend gemessen.

Zeigte ein Patient in einer oder in mehreren Situationen Defizite im Vergleich mit alters- und geschlechtsrelationierten Normwerten (im Vertiguard®-System hinterlegt), wurde automatisch ein Trainingsprogramm erstellt. Das Trainingsprogramm beinhaltet die Angabe der Ansprechschwellen für das vibrotaktile Feedback. Diese Werte orientierten sich an geschlechts- und altersspezifischen Normwerten sowie an den individuell ermittelten Messwerten. Die Trainingswerte für die Übungen, bei denen der Patient die größten Abweichungen zum Normwert zeigte (maximal 6), wurden im Gerät als Feedbackschwellen gespeichert. Während des Trainings war das Vertiguard®-Gerät zusammen mit 4 um 90° versetzt angebrachten Vibrationsstimulatoren an einem Hüftgürtel befestigt (▣ **Abb. 1**). Beim Überschreiten der eingespeicherten Feedbackschwellen wurden die Vibrationsstimulatoren in der Schwingungsrichtung des Patienten aktiviert. Die Stimulation wurde umso stärker, je weiter der Patient die individuellen Grenzwerte

für die jeweilige Übung überschritt. Mithilfe eines zusätzlichen Reglers am Gerät wurden die Feedbackschwellen vor jedem Training so fein justiert, dass der Patient noch in der Lage war, auf die Feedbacksignale zu reagieren, aber stets ein Feedbacksignal wahrnahm.

Das Training ist von allen Patienten täglich über 2 Wochen (ohne Wochenende, d. h. 10 Tage) absolviert worden. Während der einzelnen Trainingssession führte der Patient die zu trainierenden Übungen 5-mal hintereinander bei eingeschaltetem Feedback durch. Insgesamt dauerte eine Trainingssession etwa 20 min. Bei den Patienten der Kontrollgruppe (Placebo) erfolgte die Aktivierung der Vibrationsstimulatoren zufällig während der Bewegungen.

Am ersten und am letzten Trainingstag wurde neben dem SBDT bzw. gSBDT (ohne Feedback) der sensorische Organisationstest auf dem Equitest®-System (Fa. NeuroCom®, Portland/OR, USA) durchgeführt. Außerdem wurde vor und nach dem Trainingsprogramm das subjektive Schwindelempfinden mithilfe der „Vertigo Symptom Scale“ (VSS) erfasst. Dieser Fragebogen [20] erfasst die individuelle Betroffenheit des Patienten und grenzt gleichzeitig andere, psychische Einflüsse ab.

Die Schwankungswerte aller trainierten Situationen wurden bei jedem Patienten sowie innerhalb der Patientengruppen vor und nach dem 10-tägigen Training mit dem t-Test für abhängige Stichproben oder mit dem Wilcoxon-Test (Testauswahl abhängig von Datenverteilung) verglichen. Die Daten wurden zuvor mit dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test auf Normalverteilung getestet. Die Prüfung der minimalen Stichprobengröße wurde vor der Auswertung der Ergebnisse getestet. Für einen zweiseitigen Test mit einer Effektstärke von 0,9; $p < 0,05$ und einer Power von 0,95 ergibt sich die in der Untersuchung verwendete minimale Gruppengröße von 6 Patienten. Somit wurde als Signifikanzschwelle bei allen statistischen Testverfahren $p < 0,05$ verwendet. Bei Mehrfachvergleichen wurde eine Bonferroni- α -Korrektur durchgeführt.

HNO 2011 · [jvn]:[afp]–[alp] DOI 10.1007/s00106-011-2346-4
© Springer-Verlag 2011

D. Basta · A. Ernst

Vibrotaktil Neurofeedbacktraining mit dem Vertiguard®-RT-System. Placebokontrollierte Doppelblind-Pilot-Studie zur Rehabilitation von Gleichgewichtsstörungen

Zusammenfassung

Ziel. Der Erfolg eines Neurofeedbackverfahrens bei der Therapie von Gleichgewichtsstörungen hängt maßgeblich von der Art des Feedbacksignals und den spezifischen Trainingsparametern ab. Ein ideales Training sollte gezielt auf die individuellen Defizite des Patienten in Alltagssituationen abgestimmt sein. Ziel der hier vorgestellten Pilotstudie war es deshalb, die therapeutischen Möglichkeiten eines neuartigen vibrotaktilen Neurobiofeedbacksystems zu untersuchen.

Studiendesign. Auf Basis einer Schwan-
kungsanalyse wurden die Ansprechschwelle für ein vibrotaktil Feedbacktraining individuell berechnet ($n=36$). Die Reduktion der Körperschwankung sowie der Werte auf der „Vertigo Symptom Scale“ (VSS) wurde nach einem 10-tägigen Training ermittelt und mit der Placebogruppe verglichen.

Ergebnisse. Bei allen 5 Patientengruppen (gekennzeichnet durch verschiedene vestibuläre Störungen), die mit dem Verumgerät trainierten, wurde eine bessere posturale Kontrolle und ein geringerer Wert der VSS nachgewiesen ($n=30$) als bei der Placebokontrolle. **Fazit.** Ein individualisiertes vibrotaktil Neurofeedbacktraining mit dem Vertiguard®-System könnte den untersuchten Patientengruppen helfen, die Balance bei unterschiedlichen sensorischen Situationen zu verbessern. Künftige Studien sollten ein größeres Patientenkollektiv sowie die Langzeitwirkung untersuchen.

Schlüsselwörter

Neurofeedback · Vibrotaktil · Schwindel · Otolithen · M. Menière

Vibrotactile neurofeedback training with the Vertiguard® RT system. A placebo-controlled double-blinded pilot study on vestibular rehabilitation

Abstract

Background. The success of neurofeedback training for vestibular rehabilitation depends largely on the type of feedback signal as well as on the specific parameters. Ideal training should be based on the individual balance deficits in patients in everyday situations. The present study is therefore aimed at investigating the therapeutic outcome of a new vibrotactile neurofeedback system for the first time in a pilot study.

Patients and methods. A total of 36 patients performed daily vibrotactile neurofeedback training (for 10 days) based on a sway analysis on the first day. The reduction of body sway and vertigo symptom scale (VSS) scores were calculated after the training and compared with those of the placebo group.

Results. All five patient groups (characterized by different vestibular disorders) which performed the training with the correct feedback signal showed reduced body sway and VSS score ($n=30$). This effect was not visible in the placebo group.

Conclusions. Individualized vibrotactile neurofeedback training as presented here with the Vertiguard® system appeared to improve balance during daily activities in all patient groups investigated, but not in controls. Future studies should investigate the efficacy of this new method in a larger sample as well as its long term effects.

Keywords

Neurofeedback · Vibrotactile · Vertigo · Otoliths · Meniere disease

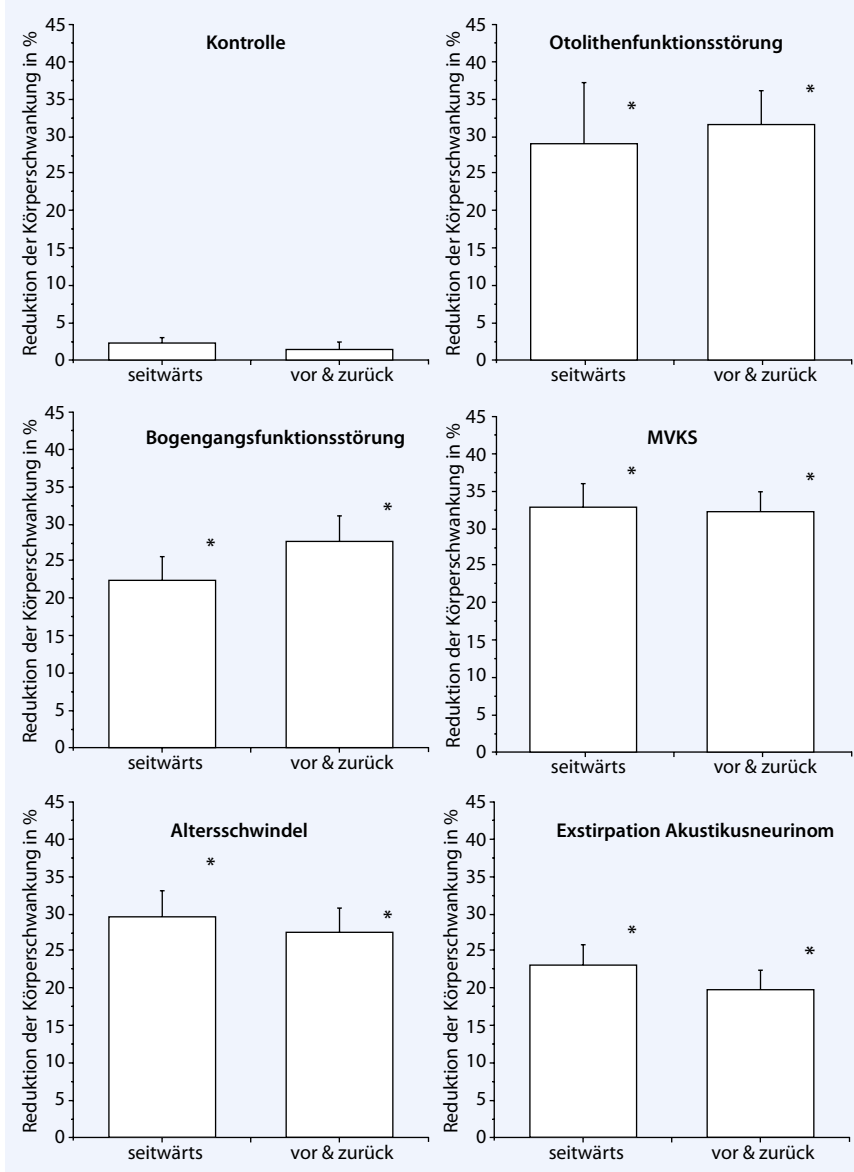


Abb. 2 ▲ Reduktion der Körperschwankung nach dem Vertiguard®-Training bei verschiedenen Patientengruppen und der Placebogruppe (n=6 je Gruppe). * Signifikante Reduktion der Schwankung

Tab. 1 Charakterisierung der in die Studie eingeschlossenen Patientengruppen

Diagnose	Mittleres Alter (Jahre)	Männlich/weiblich
1., 2. oder 3. (Kontrolle)	55,1±2,2	3:3
1. Otolithenfunktionsstörung	53,3±2,3	4:2
2. Altersschwindel	71,4±3,5	2:4
3. Bogengangsfunktionsstörung	48,5±3,2	3:3
4. Mikrovaskuläre Kompression	55,1±4,5	4:2
5. Exstirpation eines Akustikusneurinoms	59,4±3,4	4:2

Ergebnisse

Die Alters- und Geschlechterstruktur unterschied sich nur in der AS-Gruppe von der Kontrolle (■ Tab. 1).

Von den insgesamt 30 trainierten Patienten der Verumgruppen zeigten 24 (80%) eine signifikante Reduktion der Körperschwankung in allen trainierten Situationen. Drei Patienten konnten sich noch in 5 und 2 Patienten in 4 der insgesamt 6 trainierten Situationen signifikant verbessern. Ein Patient erreichte eine Verringerung der Körperschwankung in 50% der absolvierten Situationen. Drei Patienten der Kontrollgruppe zeigten eine signifikante Verbesserung in 2 der trainierten Situationen. Die anderen 3 Patienten der Kontrollgruppe konnten ihre Körperschwankung nur in einer Situation verbessern.

Die prozentuale Reduktion der Körperschwankung ist in ■ Abb. 2 dargestellt. Alle Patientengruppen wiesen eine erheblich größere Verringerung der Schwankung nach dem Training auf als die Kontrolle. So konnte die Balance bei MVKS-Patienten lateral sowie dorsoventral um über 30% verbessert werden. Bei allen anderen Patientengruppen, mit Ausnahme der EAKN, war eine mittlere Reduktion der Schwankung um etwa ein Viertel bis zu einem Drittel des Ausgangswerts zu beobachten. EAKN-Patienten verringerten ihre laterale und dorsoventrale Instabilität nur um etwa 20%.

In ■ Abb. 3 ist der „SOT composite score“ (sensorischer Organisations-test) vor und nach dem Training dargestellt. Dieser ist in der Kontrollgruppe nahezu unverändert. In allen Verumgruppen zeigt er jedoch eine signifikante Zunahme. Der höchste Gewinn an Stabilität in den sensomotorischen Situationen des SOT war bei Patienten der AS- und Oo-Gruppe zu verzeichnen. Die geringste Steigerung wurde in der EAKN-Gruppe erreicht. Auch die subjektive Beurteilung des Trainingserfolges mithilfe der VSS zeigte bei allen Patienten der Verumgruppen eine erheblich größere Abnahme der Schwindelsymptome als bei der Kontrolle (■ Abb. 4). Patienten der Oo-, MVKS- und AS-Gruppe hatten den besten subjektiven Eindruck vom Trainingserfolg.

Diskussion

Bei allen 5 verschiedenen Patientengruppen, die mit den korrekt zugeordneten Vibrationsstimulatoren trainierten, wurde eine deutlich verbesserte posturale Kontrolle im SOT und auch im SBDT nachgewiesen. Selbst bei Patienten mit einer Otolithenfunktionsstörung konnte eine Steigerung der Gleichgewichtskontrolle auf der Plattform (SOT, Equitest®) festgestellt werden, obwohl gerade diese Patienten eher selten bei diesem Test durch eine erhöhte Instabilität auffallen [1]. Die geringste Reduktion der Körperschwankung war sowohl im SOT als auch im SBDT in der EAKN-Gruppe zu beobachten. Dennoch war ein Zugewinn an Stabilität auch bei diesen Patienten zu verzeichnen, was sich jedoch nicht sehr deutlich in der subjektiven Beurteilung der Schwindelsymptome niederschlägt. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den kompletten Verlust der afferenten Signalleitung im chirurgisch resezierten N. vestibularis zurückzuführen und entspricht den Angaben in der Literatur (Übersicht in [16]). Die vor vielen Jahren von Herdman et al. [5] vorgeschlagene, physiotherapeutisch basierte Übungsbehandlung scheint in dieser Patientengruppe, im Vergleich zum hier vorgestellten Ansatz, wenig erfolgreich zu sein.

Bei allen anderen Verumgruppen waren neben den objektiven Parametern der Körperschwankung (dynamische und statische Posturographie) auch die subjektiven Schwindelsymptome nach dem Training deutlich reduziert. Bei den Patienten der Placebogruppe wurde weder in den objektiven Testverfahren noch in der Erfassung der Beschwerden ein vergleichbarer Effekt nachgewiesen. Somit scheint weder das Tragen des Geräts noch die Stimulation selbst noch die Wiederholung der Übungsabläufe für den Effekt des Trainings verantwortlich zu sein. Über ähnliche Erfahrungen wurde bei Verwendung der gleichen Übungen für ein auditorisches Neurofeedbacktraining berichtet [2]. Auch in dieser Studie schienen die Übungen selbst zu kurz (jeweils maximal 20 s), um einen physiotherapeutisch relevanten Effekt zu erzielen. Somit stellt das vibrotaktile Neurofeedbacktraining kein Gleichgewichtsstraining im üblichen

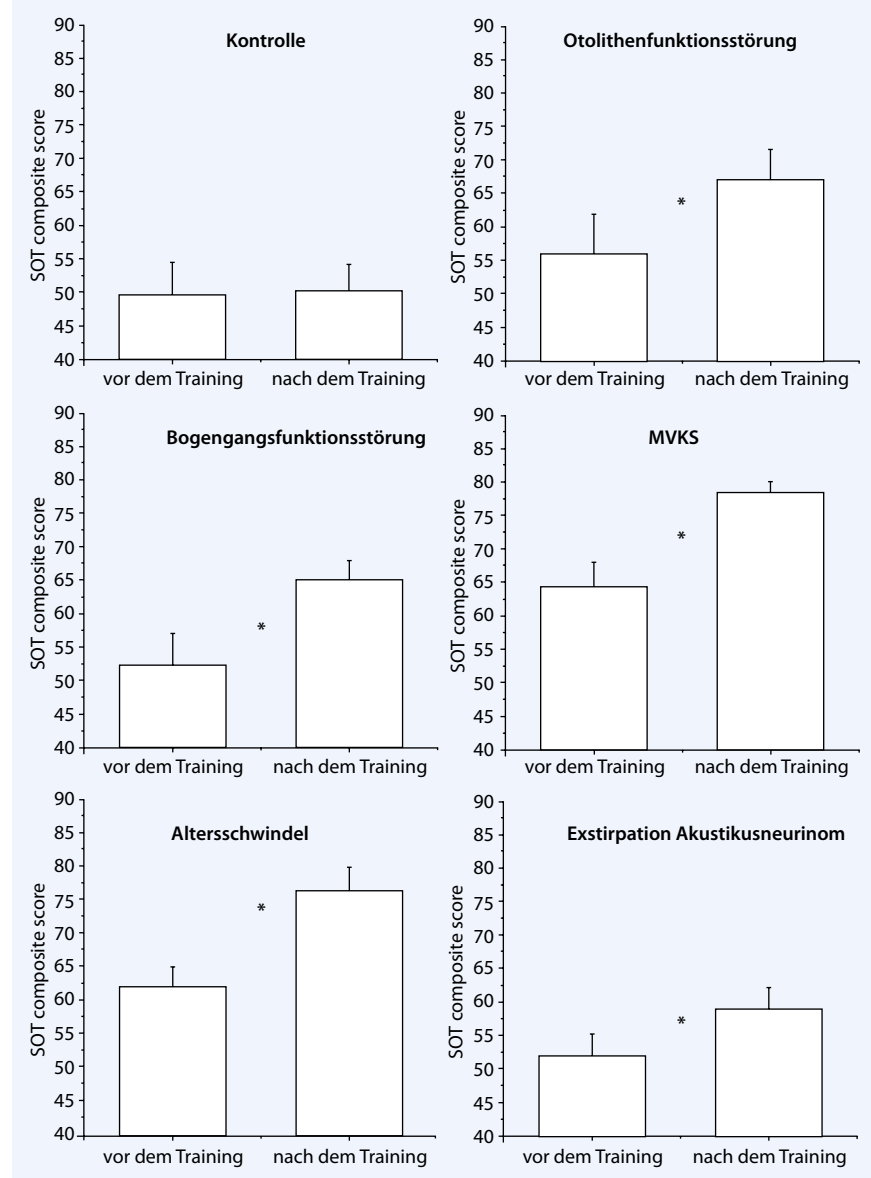


Abb. 3 ▲ Veränderung des „composite score“ im sensorischen Organisationstest (SOT) des Equitest®-Systems nach dem Vertiguard®-Training (n=6 je Gruppe). Ein höherer Wert signalisiert eine bessere posturale Kontrolle. * Signifikanter Unterschied zwischen dem Wert vor und nach dem Training

Sinn dar, bei dem der Patient eine zentrale Kompensation anstrebt, indem er über Monate ein Training absolviert. In der hier beschriebenen kurzen Übungszeit scheint vielmehr ein unbewusster Lernprozess stattzufinden. Der Patient lernt im Training, Informationen über Körperzustände wie Muskellänge, Sehnenspannung und Gelenkstellung verstärkt im Rahmen der Gleichgewichtskontrolle zu nutzen. Das Feedbacksignal hilft dem Körper während des Trainings, den individuellen Normalbereich dieser Parameter für die entsprechende sensomotorische Situation zu definieren. Somit han-

delt es sich bei dem Feedbacktraining um eine Neubewertung vegetativer Afferenzen i. S. einer Programmierung (Engrammierung/Lernen). Wird dieses Ziel erreicht, kann der Patient in kürzester Zeit auch ohne ein Feedbacksignal eine normale Körperschwankung aufweisen.

Die vibrotaktile Stimulation wurde als Feedbacksignal gewählt, da sie sehr intuitiv als korrigierendes taktiles Signal vom Patienten wahrgenommen wird und keine für die Orientierung im Raum wichtigen Sinne beeinflusst (z. B. visuell, auditorisch). Dennoch birgt dieser Stimulus die Gefahr der Erzeugung einer Wahr-

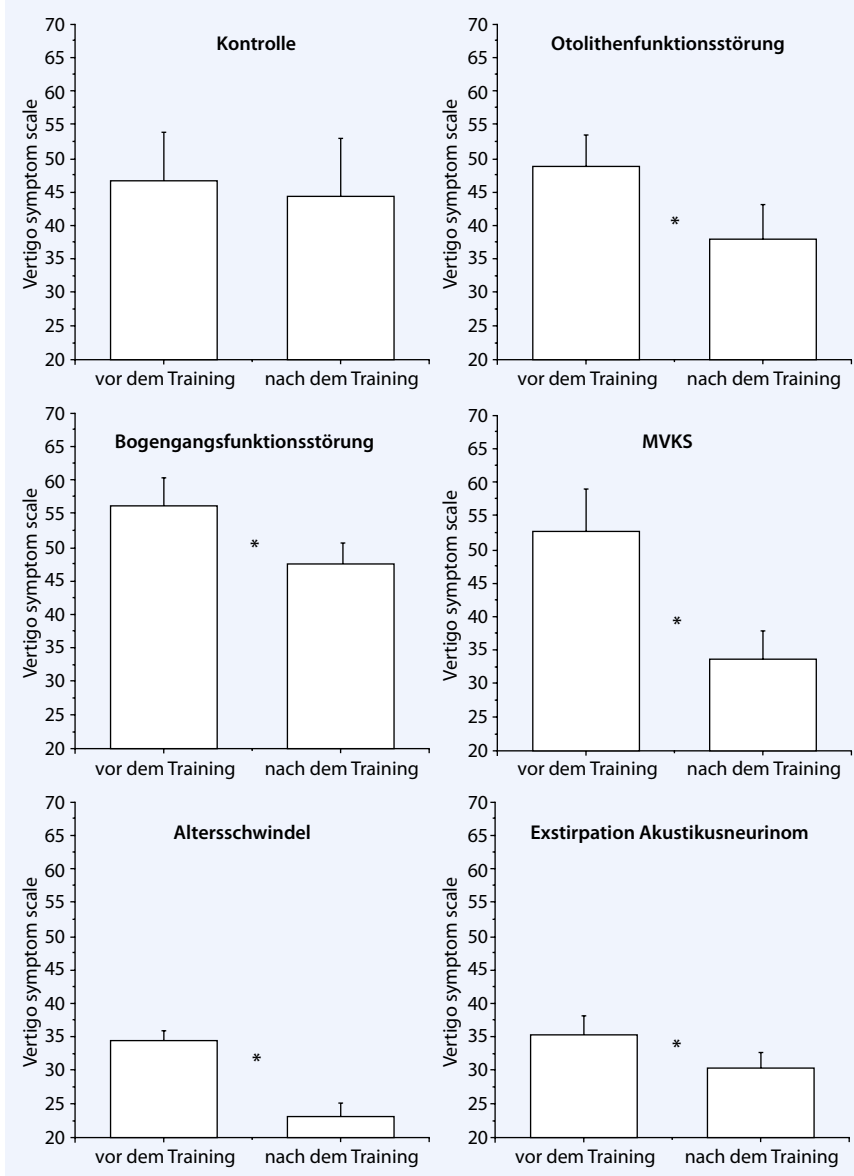


Abb. 4 ▲ Veränderungen in der „Vertigo Symptom Scale“ nach dem Vertiguard®-Training (n=6 je Gruppe). Ein niedrigerer Wert signalisiert die Abnahme der Beschwerden. * Signifikanter Unterschied zwischen dem Wert vor und nach dem Training

nehmungszustand hinsichtlich der Orientierung im Raum beim Stehen und Gehen [22]. Die für eine signifikante Beeinflussung der Wahrnehmung benötigte Stärke und Dauer der Vibration wird jedoch durch das Vertiguard®-System nicht erreicht. Die Stimulationen im Rahmen des Gleichgewichtstrainings sind sehr kurz (etwa 1 s) und an der Wahrnehmungsgrenze. Würde die Vibrationsstimulation selbst dennoch einen Einfluss auf die posturale Kontrolle ausüben, würden die dadurch induzierten Stellreflexe i. S. des geplanten Trainings stattfinden (dem Stimulus ausweichend).

Sehr überraschend war der große Erfolg des vibrotaktilen Neurofeedbacktrainings bei Patienten mit MVKS. Anscheinend kann der aufgrund der Kompression des N. vestibularis einseitig reduzierte Input der Vestibulariskerne mithilfe der sensorischen Substitution effektiv kompensiert werden. Eine derartige Therapieoption ist für diese Patientengruppe bisher noch nicht beschrieben worden.

Für Patienten mit nichtkompensiertem, einseitigem Vestibularisausfall bzw. Otolithenfunktionsstörung konnte die Evidenz einer vestibulären Rehabilitation mithilfe komplexer Bewegungsabläufe

bereits nachgewiesen werden [2, 7]. Die Verwendung eines individualisierten vibrotaktilen Feedbacktrainings scheint dabei jedoch besonders effektiv zu sein. Ein derartig effektives Training mit minimalen körperlichen Anforderungen ist auch im Rahmen der Sturzprävention bei älteren Patienten sinnvoll. Gerade ältere Patienten, die eine fortschreitende Reduktion der vestibulären Perzeption andauernd kompensieren [25], zeigten in der hier vorgestellten Untersuchung eine besonders deutliche Verbesserung der posturalen Kontrolle auch in komplexen Situationen.

Fazit für die Praxis

Insgesamt scheint das individualisierte vibrotaktile Neurofeedbacktraining mit dem Vertiguard®-System bei allen bisher untersuchten Patientengruppen die Balance beim Laufen und Stehen in unterschiedlichen sensorischen Situationen zu verbessern. Über die Langzeitwirkung des Trainings ist bisher jedoch nichts bekannt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass dem Lernvorgang während des Trainings eine allmähliche Extinktion folgt, die den Bedarf eines wiederholten Trainings induziert.

Korrespondenzadresse

PD Dr. D. Basta



HNO-Klinik im
Unfallkrankenhaus Berlin
Warener Str. 7, 12683 Berlin
dietmar.basta@ukb.de

Danksagung. Die Autoren danken Frau Carina Heise für ihr großes Engagement beim Training der Patienten.

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Basta D, Clarke A, Ernst A, Todt I (2007) Stance performance under different sensorimotor conditions in patients with post-traumatic otolith disorders. *J Vest Res* 17(1):25–31
2. Basta D, Singbartl F, Todt I et al (2008) Vestibular rehabilitation by auditory feedback in otolith disorders. *Gait Posture* 28(3):397–404

3. Freiberger E, Menz HB (2006) Sturzcharakteristika bei physisch aktiven älteren Menschen: Ergebnisse der „Standfest-im-Alter“-Studie. *Z Gerontol Geriatr* 39:261–267
4. Hegeman J, Honegger F, Kupper M, Allum JH (2005) The balance control of bilateral peripheral vestibular loss subjects and its improvement with auditory prosthetic feedback. *J Vestib Res* 15(2):109–117
5. Herdman SJ, Clendaniel RA, Mattox DE et al (1995) Vestibular adaptation exercises and recovery: acute stage after acoustic neuroma resection. *Otolaryngol Head Neck Surg* 113(1):77–87
6. Hill K, Schwarz J, Flicker L, Carroll S (1999) Falls among healthy, community-dwelling, older woman: a prospective study of frequency, circumstances, consequences and prediction accuracy. *Aust N Z J Public Health* 23:41–48
7. Hillier SL, Hollohan V (2007) Vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular dysfunction. *Cochrane Database Syst Rev* 17(4):CD005397
8. Horak FB, Dozza M, Peterka R et al (2009) Vibrotactile biofeedback improves tandem gait in patients with unilateral vestibular loss. *Ann NY Acad Sci* 1164:279–281
9. Icks PHA, Becker C, Kunstmann W (2005) Sturzprävention bei Senioren – Eine interdisziplinäre Aufgabe. *Dtsch Arztebl* 102:2150–2152
10. Lockemann U, Westhofen M (1991) Course of early vestibular compensation after acute labyrinthine lesions. A clinical-experimental longitudinal study. *Laryngorhinootologie* 70(6):326–329
11. Lord SR, Sturnieks DL (2005) The physiology of falling: assessment and prevention strategies for older people. *J Sci Med Sport* 8:35–42
12. McGibbon CA, Krebs DE, Wolf SL et al (2004) Tai Chi and vestibular rehabilitation effects on gaze and whole-body stability. *J Vestib Res* 14(6):467–478
13. Neuhauser HK, Brevern M von, Radtke A et al (2005) Epidemiology of vestibular vertigo: a neurotologic survey of the general population. *Neurology* 27;65(6):898–904
14. Pavlou M, Lingeswaran A, Davies RA et al (2004) Simulator based rehabilitation in refractory dizziness. *J Neurol* 251(8):983–995
15. Pfeifer M, Minne HW (2006) Prävention von Stürzen und Frakturen bei älteren Menschen. *Dtsch Arztebl* 103:116–117
16. Saman Y, Bamiou DE, Gleeson M (2009) A contemporary review of balance dysfunction following vestibular schwannoma surgery. *Laryngoscope* 119(11):2085–2093
17. Schmä F (2007) Gleichgewichtsstörungen und Schwindel im Alter. *Geriatric J* 6:23–28
18. Shumway-Cook A, Brauer S, Woolacott M (2001) Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Phys Ther* 81:1060–1061
19. Szturm T, Ireland DJ, Lessing-Turner M (1994) Comparison of different exercise programs in the rehabilitation of patients with chronic peripheral vestibular dysfunction. *J Vestib Res* 4(6):461–479
20. Tschann R, Wiltink J, Best C et al (2008) Validation of the German version of the Vertigo Symptom Scale (VSS) in patients with organic or somatoform dizziness and healthy controls. *J Neurol* 255(8):1168–1175
21. Tyler M, Danilov Y, Bach-Y-Rita P (2003) Closing an open-loop control system – vestibular compensation through the tongue. *J Integr Neurosci* 2:159–164
22. Verschueren SM, Swinnen SP, Desloovere K, Duy-sens J (2003) Vibration-induced changes in EMG during human locomotion. *J Neurophysiol* 89:1299–1307
23. Viirre E, Sitarz R (2002) Vestibular rehabilitation using visual displays: preliminary study. *Laryngoscope* 112(3):500–503
24. Wall C, Weinberg MS (2003) Balance prostheses for postural control. *IEEE Eng Med Biol Mag* 22:84–90
25. Walther LE, Westhofen M (2007) Presbyvertigo-aging of otoconia and vestibular sensory cells. *J Vestib Res* 17(2–3):89–92