

Gleichgewichtstraining: Transfer auf untrainierte Aufgaben?

Andreas Kramer, Louis-Solal Giboin

Ist Gleichgewicht eine Fähigkeit oder Fertigkeit? Was muss ich trainieren, damit ich für kritische Situationen gewappnet bin? Die Autoren entzaubern den Mythos Gleichgewichtstraining und geben wertvolle Hinweise, wie ein wirkungsvolles Training zur Vermeidung von Stürzen und Verletzungen gestaltet werden muss.

Hintergrund

Gleichgewichtstraining (► **Abb. 1**) wird vor allem in der Sturzprävention sowie in der Prävention und Rehabilitation von Sprunggelenksverletzungen eingesetzt. Dabei wird in der Regel davon ausgegangen, dass Gleichgewicht eine übergeordnete Fähigkeit ist und das Training einer oder mehrerer Gleichgewichtsaufgaben somit das Gleichgewicht im Allgemeinen verbessert, das heißt, dass sich das Training auch auf Gleichgewichtsaufgaben und Situationen positiv auswirkt, die nicht trainiert wurden. Diese Auffassung ist in der Literatur sehr verbreitet und spiegelt sich auch darin wider, dass unspezifische Gleichgewichtstests, wie etwa der Einbeinstand mit offenen oder geschlossenen Augen, zur Beurteilung der Gleichgewichtsfähigkeit oder zur Messung von Trainingseffekten eines Gleichgewichtstrainings herangezogen werden. Auch werden in Überblicksartikeln alle möglichen Arten von Gleichgewichtstraining zusammengefasst, obwohl sie aus unterschiedlichsten Übungen bestehen, unter anderem Ein- oder Beidbeinstand auf verschiedenartigen instabilen Unterstützungsflächen. Als Übungsgeräte dienen zum Beispiel Therapiekreisel, Kippbretter, Weichmatten, Schwingplattformen oder neuerdings auch Slacklines. Zusätzliche Variationsmöglichkeiten ergeben sich aus den Belastungsnormativa Übungsdauer, Pausendauer, Wiederholungszahl und Serienanzahl, aber auch aus Standortwahl, Feedbackbeschränkung und Zusatzaufgaben [1].

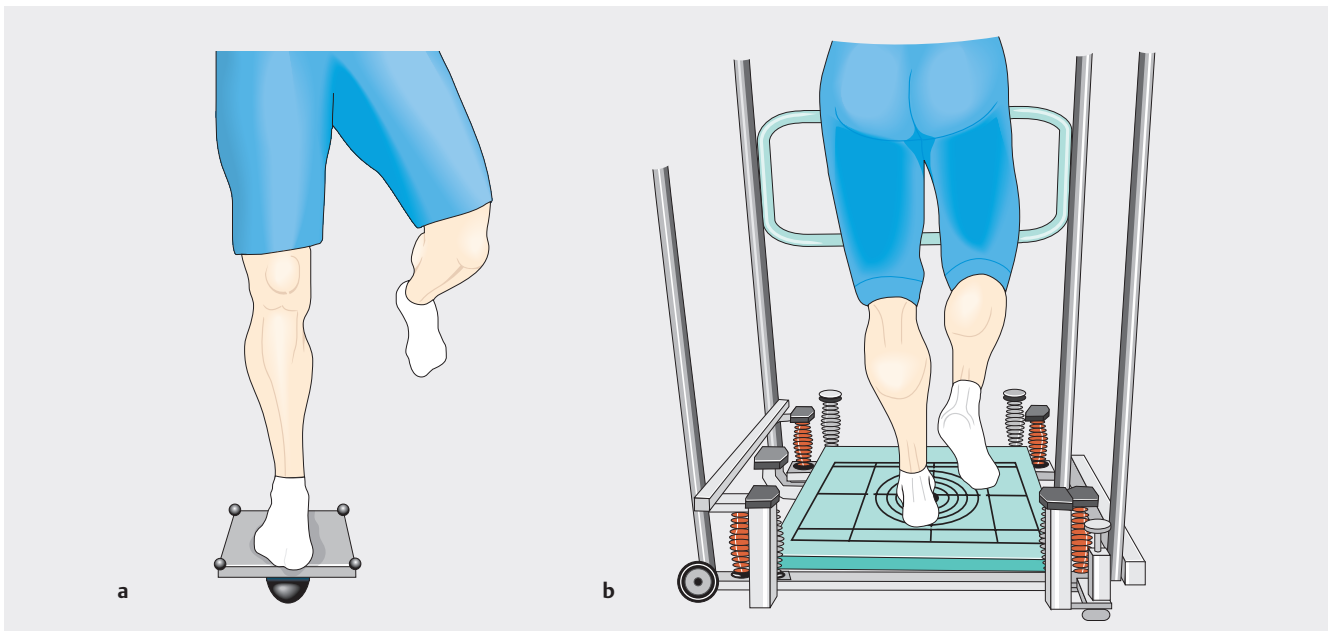
Dieser verbreiteten Auffassung von Gleichgewicht als allgemeiner Fähigkeit steht die Sichtweise von Gleichgewicht als Ansammlung von Fertigkeiten gegenüber, also einzelnen Fertigkeiten, die erfordern, den Körper im Gleichgewicht zu halten, die jedoch separat gelernt und trainiert werden müssen. In dem Fall würde das Training einer Gleichgewichtsaufgabe nur diese verbessern und nicht auch andere, untrainierte Gleichgewichtsaufgaben. Außerdem sollte man dann auch spezifische, auf das Training zugeschnittene Gleichgewichtstests verwenden um den Trainingsfortschritt sinnvoll messen zu können.



► **Abb. 1** Gleichgewichtstraining findet oft mit Kleingeräten wie Balance-Trainern statt (Quelle: Wavebreakmedia-Micro/stock.adobecom) (Symbolbild).

Studie zur Aufgabenspezifität von Gleichgewichtstraining

Um nun die Frage zu beantworten, ob Gleichgewicht eher eine allgemeine Fähigkeit ist und sich das Training einer Gleichgewichtsaufgabe auf untrainierte Aufgaben auswirkt oder ob Gleichgewicht eher eine Ansammlung separater Fertigkeiten ist und das Training nur Auswirkungen auf die trainierten Aufgaben hat, konzipierten wir folgende Studie [2]: Die Teilnehmer wurden in eine von drei Gruppen eingeteilt, zwei Trainingsgruppen und eine Kontrollgruppe. Die eine Trainingsgruppe trainierte zwei Wochen lang eine Gleichgewichtsaufgabe mit einem bestimmten Trainingsgerät (Einbeinstand auf einem Kippbrett in mediolateraler Richtung, die andere Trainingsgruppe eine

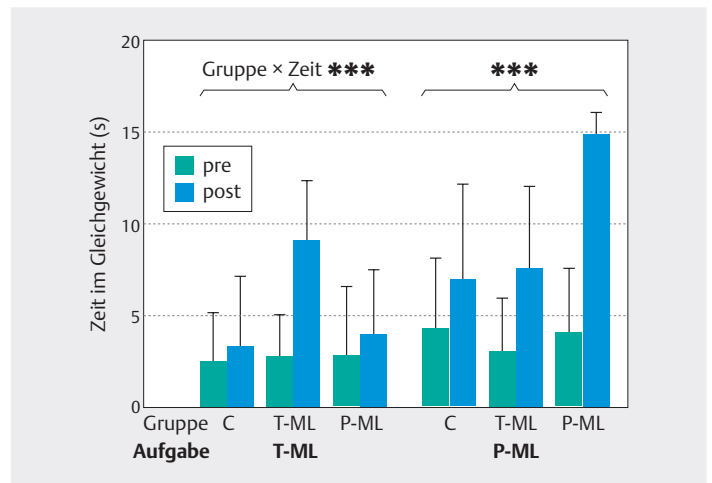


► **Abb. 2** Die Abbildung zeigt die beiden unterschiedlichen Aufgaben, welche die Probanden bei der Studie von Giboin et al [2] zu absolvieren hatten: Einbeinstand auf dem Kippbrett (a) und dem Schwingbrett (Posturomed, b) (Quelle: Thieme Gruppe).

ähnliche Aufgabe mit einem anderen Trainingsgerät (Einbeinstand auf einer Schwingplattform, dem Posturomed, ausgelenkt in mediolateraler Richtung). Diese Kontrollgruppe absolvierte kein Training.

Vor und nach der Trainingsphase wurden alle Teilnehmer mittels dieser beiden Gleichgewichtsaufgaben getestet. Die Überlegung hinter diesem Studiendesign war wie folgt: Falls das Training einer Gleichgewichtsaufgabe nur Verbesserungen in dieser Aufgabe hervorruft, so sollte die Trainingsgruppe, die auf dem Kippbrett trainierte, nur Verbesserungen auf dem Kippbrett zeigen, nicht aber auf dem Posturomed. Für die Trainingsgruppe auf dem Posturomed gälte umgekehrt dasselbe.

In ► **Abb. 3** sieht man eindrücklich, dass genau das eintrat: Die Trainingsgruppe, die auf dem Kippbrett trainierte, steigerte sich in dieser Aufgabe deutlich, nicht jedoch in der von ihnen nicht trainierten Posturomed-Aufgabe, zumindest nicht stärker als der Test-Retest-Effekt der auch in der Kontrollgruppe sichtbar war. Dieser Test-Retest-Effekt beruht darauf, dass die Teilnehmer in den Messungen nach der Trainingsphase bereits einige Wiederholungen im Rahmen der Messungen vor der Trainingsphase absolvierten, was schon einen initialen Lerneffekt dieser wenigen Testwiederholungen zur Folge hat. Dieser Test-Retest-Effekt ist auch der Grund, warum bei Studien vor allem im Bereich Gleichgewichtstraining immer eine Kontrollgruppe erforderlich ist, um die Trainingseffekte vernünftigerweise abschätzen und von den Test-Retest-Verbesserungen abgrenzen zu können. Umgekehrt steigerte sich die Trainingsgruppe, die auf dem Posturomed trainierte, ebenfalls deutlich in die-



► **Abb. 3** Ergebnisse der Aufgabenspezifitätsstudie (nach [2]): Man sieht deutlich, dass sich die Trainingsgruppen nur in den trainierten Aufgaben stärker verbesserten als die Kontrollgruppe. Die Trainingsgruppe, die auf dem Kippbrett in mediolateraler Richtung trainierte (T-ML), verbesserte sich von vor dem Training (grüne Balken) zu nach dem Training (blaue Balken) signifikant mehr als die anderen Gruppen, nicht jedoch in der von ihr nicht trainierten Posturomed-Aufgabe (P-ML). Für die Posturomed-Trainingsgruppe gilt umgekehrt dasselbe. Die zu beobachtende Verbesserung der Kontrollgruppe und der Trainingsgruppe in der nicht trainierten Aufgabe ist dem Test-Retest-Effekt zuzuschreiben.

ser Aufgabe, jedoch nicht über den Test-Retest-Effekt hinaus in der von ihnen nicht trainierten Kippbrett-Aufgabe.

Gleichgewicht ist eher eine Ansammlung von Fertigkeiten als eine generalisierte Fähigkeit.

Diese Studie liefert somit einen klaren Hinweis darauf, dass Gleichgewicht eher als Ansammlung von Fertigkeiten zu konzipieren ist und sich Verbesserungen in trainierten Aufgaben nicht ohne Weiteres auf untrainierte Aufgaben übertragen und generalisieren lassen.

Literatur- und Metaanalyse zur Aufgabenspezifität von Gleichgewichtstraining

Da die Ergebnisse dieser Studie im Kontrast zur in der Literatur verbreiteten Auffassung von Gleichgewicht als Fähigkeit und der Generalisierbarkeit von Gleichgewichtstrainingseinheiten standen, wollten wir sichergehen, dass die Ergebnisse keine zufälligen Ausreißer waren, sondern sich auch in anderen Studien als der unseren wiederfinden. Aus diesem Grund führten wir eine Literaturanalyse durch [3], bei der wir mehr als 3000 wissenschaftliche Artikel evaluierten. Die Einschlusskriterien waren wie folgt: Es sollten randomisierte kontrollierte Studien mit Gesunden sein, die nur Gleichgewichtstraining nutzten (und kein multimodales Training, das die Zuordnung der Trainingseffekte unmöglich machen würde), und sowohl die trainierten Gleichgewichtsaufgaben als auch mindestens eine untrainierte Gleichgewichtsaufgabe vor und nach dem Training testeten. Nach Anwendung dieser Einschlusskriterien blieben sechs Studien übrig, die diese erfüllten.

Wir verglichen in den eingeschlossenen Studien den Effekt des Gleichgewichtstrainings auf die trainierten Aufgaben mit dem Effekt auf die untrainierten Aufgaben und stellten fest, dass der Effekt des Trainings auf die trainierten Aufgaben wie zu erwarten hoch war (Effektstärke von 0,79). Auf die untrainierten Aufgaben hatte das Training jedoch keine oder sehr geringe Effekte (Effektstärken zwischen -0,07 und 0,18).

Dies bestätigte also die Ergebnisse unserer Studie und zeigt, dass nach Gleichgewichtstraining zwar ein deutlicher Effekt auf die trainierten Aufgaben, jedoch in der Regel kein nennenswerter Transfer auf untrainierte Gleichgewichtsaufgaben zu erwarten ist. Dies scheint unabhängig von der Art des Gleichgewichtstrainings zu gelten, da in den in die Literaturanalyse eingeschlossenen Studien verschiedenste Gleichgewichtstrainingvarianten genutzt wurden, angefangen von Kippbrettern, Bosu-Bällen und Matten über Gewichtsverlagerungsaufgaben und Zusatzaufgaben bis hin zu Slackline-Training.

Effekte von variablem Gleichgewichtstraining auf das Erlernen neuer Gleichgewichtsaufgaben

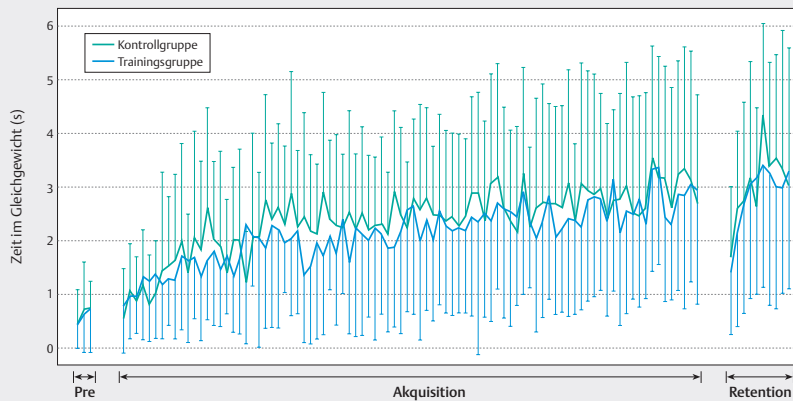
Wenn nun das Training einer Gleichgewichtsaufgabe positive Effekte nur auf diese Aufgabe hat, könnte man ar-

gumentieren, dass dies daran liegt, dass nur eine Aufgabe trainiert wird statt vieler verschiedener Gleichgewichtsaufgaben – und dass bei einem solchen variablen Training die Chancen viel höher sind, dass sich die Trainingseffekte auch auf neue, nicht trainierte Situationen übertragen lassen. Dieser Effekt ist im motorischen Lernen unter dem Namen „Learning to learn“ bekannt [4]. Er beruht wahrscheinlich unter anderem auf strukturellem Lernen, also auf dem Erlernen von Strukturen und Gemeinsamkeiten von verschiedenen Aufgaben, die das Lernen von ähnlichen Aufgaben mit gemeinsamer Grundstruktur erleichtern. Dieser Effekt wurde schon in mehreren Studien für kognitive [5][6][7] oder visuomotorische Aufgaben [4][8] nachgewiesen. Wir wollten deshalb untersuchen, ob dieser Effekt auch beim Erlernen von neuen Gleichgewichtsaufgaben genutzt werden kann, also ob das Üben verschiedener Gleichgewichtsaufgaben das darauffolgende Erlernen einer neuen Gleichgewichtsaufgabe erleichtert, entweder durch eine höhere Lerngeschwindigkeit oder einen Transfer, also eine erhöhte Leistung in der neuen Aufgabe vom ersten Versuch an.

Die erste Studie, die wir in diesem Zusammenhang durchführten, beinhaltete eine Einheit von 90 Wiederholungen mit drei verschiedenen Gleichgewichtsaufgaben (Slackline, Bosu-Ball und Sensoboard), gefolgt von 90 Wiederholungen einer neuen Aufgabe (Kippbrett) [9]. Es zeigte sich jedoch, dass die Gruppe, die vorher drei verschiedene Gleichgewichtsaufgaben geübt hatte, im Vergleich zur Kontrollgruppe keinen Vorteil beim Erlernen der neuen Aufgabe hatte (► **Abb. 4**). Auch bei einem späteren Retentionstest war kein Effekt feststellbar.

Obwohl unser Studiendesign an das Design von Studien angelehnt war, die den „Learning to learn“-Effekt für kognitive oder visuomotorische Aufgaben nachgewiesen hatten, konnten wir diesen Effekt also nicht für Gleichgewichtsaufgaben nachweisen. Für den Fall, dass Gleichgewichtsaufgaben im Vergleich zu kognitiven oder einfachen visuomotorischen Aufgaben zu komplex sind, als dass sich innerhalb von einer Übungseinheit Effekte einstellen würden, führten wir eine zweite Studie durch, in der wir statt einer Übungseinheit ein sechswöchiges variables Gleichgewichtstraining mit verschiedenen Gleichgewichtsaufgaben durchführten. Anschließend untersuchten wir den Effekt auf zwei neue Gleichgewichtsaufgaben. Doch auch dieses deutlich längere, variable Gleichgewichtstraining zeigte keine signifikanten Auswirkungen auf das Erlernen der neuen Gleichgewichtsaufgaben.

Somit scheint weder das Training einer Gleichgewichtsaufgabe noch das Training mehrerer verschiedener Gleichgewichtsaufgaben einen nennenswerten Einfluss auf neue, nicht trainierte Gleichgewichtsaufgaben zu haben, was den Nutzen von Gleichgewichtstraining für unbekannte Situationen, wie sie bei Stürzen und Verletzungen oft vorkommen, stark infrage stellt.



► **Abb. 4** Lernkurven in der neuen Gleichgewichtsaufgabe (Kippbrett), für die Trainingsgruppe in Blau und die Kontrollgruppe in Grün. Es ist kein Unterschied zwischen den Gruppen erkennbar, weder in der Lernphase, noch in der Retention (nach [9]).

Gründe für scheinbaren Transfer auf untrainierte Aufgaben

Nach den sehr klaren Ergebnissen sowohl unserer Studien als auch der durchgeführten Literaturanalyse stellte sich die Frage, wieso die Auffassung von der Generalisierbarkeit von Gleichgewichtstrainingseffekten trotzdem so verbreitet ist und woran es liegen könnte, dass sich in manchen Studien leichte Effekte in untrainierten Aufgaben zeigen.

Im Gegensatz zu den von uns untersuchten gesunden, vorwiegend jungen Probanden ist bei Älteren oder Patienten manchmal ein Trainingseffekt feststellbar, selbst wenn gänzlich andere Aufgaben getestet werden als diejenigen, die trainiert wurden. Dies kann etwa eine Verbesserung der Maximalkraft [10] oder der Kraftentwicklungsrate [11] nach Gleichgewichtstraining sein, so dass sich diese allgemeinen Verbesserungen der körperlichen Leistungsfähigkeit, die bei Populationen mit entsprechenden Defiziten in der körperlichen Leistungsfähigkeit besonders ausgeprägt sind, in jeglichen Tests niederschlagen. Somit wäre möglicherweise eine Verbesserung in untrainierten Gleichgewichtsaufgaben mit einer gesteigerten Kraft und Leistung der beteiligten Beinmuskeln erklärbar. Dies wäre jedoch kein direkter Transfer, sondern ein indirekter Effekt des Trainings auf die körperliche Leistungsfähigkeit.

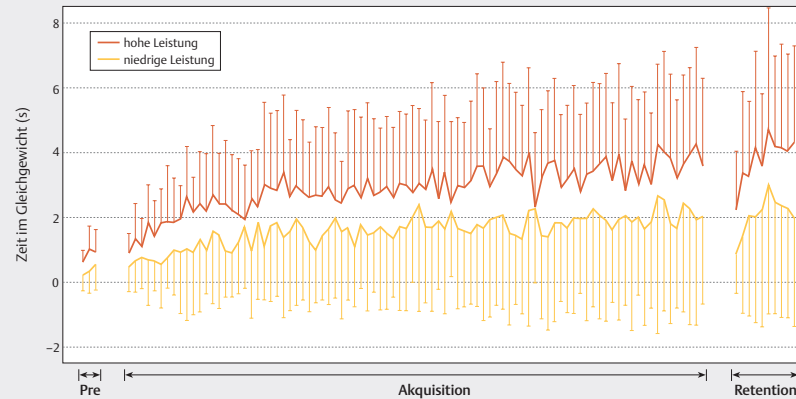
Ein möglicher Grund für scheinbare Transfereffekte ist, dass viele Studien im Kontext von Sturzprävention mit der relevanten Zielgruppe durchgeführt werden, also mit älteren Teilnehmern oder Patienten mit Gleichgewichtsdefiziten.

In der Tat gibt es einige Querschnittstudien, die einen Zusammenhang zwischen verschiedenen Komponenten der körperlichen Leistungsfähigkeit und dem Abschnei-

den in Gleichgewichtstests nahelegen, etwa eine Studie von Hammami und Kollegen [12], die bei jugendlichen Fußballspielern einen moderaten Zusammenhang zwischen der Leistung bei Sprüngen und zwei Gleichgewichtstests (Stork und Y-Balance) beobachteten. Auch in der von uns durchgeführten Studie zum „Learning to learn“-Effekt stellten wir bei gesunden Erwachsenen einen Zusammenhang fest zwischen der maximalen Leistung der Beinstrecker und der Lerngeschwindigkeit bei der neuen Gleichgewichtsaufgabe (► **Abb. 5**).

Allerdings darf man nicht vergessen, dass die in Querschnittstudien beobachteten Korrelationen oft keinen Kausalzusammenhang implizieren. Das heißt, es kann nicht ohne Weiteres darauf geschlossen werden, dass beispielsweise nach einem Krafttraining, das Kraft und Leistung der Beinmuskulatur erhöht, auch die Leistung in Gleichgewichtstests besser ist. Hierzu sind Trainingsstudien notwendig, von denen es momentan noch wenige in ausreichender Qualität gibt.

In einem Überblicksartikel von Orr und Kollegen [13] wurden 29 Studien eingeschlossen, die die Effekte von progressivem Krafttraining auf die Leistung in verschiedenen Gleichgewichtstests bei älteren Teilnehmern unterschiedlichen Gesundheitszustandes untersuchten. Die Ergebnisse dieser Literaturanalyse waren jedoch nicht eindeutig: Über alle analysierten Studien gemittelt war in nur 22 % der Gleichgewichtstests nach dem Krafttraining eine Verbesserung festzustellen. Die gemischten Resultate erklärten die Autoren damit, dass es zwischen den Studien große Unterschiede im Hinblick auf Art und Dosis des Krafttrainings, die trainierten Muskelgruppen, die Probandenkollektive und die Art der Gleichgewichtstests gab. Somit gibt es bisher nur schwache Evidenz für die Wirksamkeit von dieser Art des Krafttrainings bei Älteren auf die Leistung in Gleichgewichtstests. Weitere Studien sollten sich mit der Frage beschäftigen, was für ein Training für die bei Gleichgewicht und Sturzprävention wichtigsten Muskeln die größten Effekte zeigt und welche Mechanismen hierbei eine Rolle



► **Abb. 5** Teilt man die Teilnehmer auf in diejenigen mit überdurchschnittlich hoher Leistung der Beinstrecker (rote Linie) und diejenigen mit unterdurchschnittlich hoher Leistung (gelbe Linie), so ist ein signifikanter Unterschied in der Lerngeschwindigkeit in der neuen Gleichgewichtsaufgabe erkennbar, der auch in der Retention erhalten bleibt (nach [9]).

spielen. Einige Studien liefern jedoch schon Hinweise darauf, dass – wie auch in unserer Querschnittstudie beobachtet – nicht unbedingt die Maximalkraft der Beinmuskulatur, sondern vielmehr die Leistung, also das Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit, ein wichtiger Faktor für die Leistung und Lerngeschwindigkeit von Gleichgewichtsaufgaben ist. Beispielsweise konnten Orr und Kollegen [14] in einer Studie mit mehr als 100 gesunden Senioren zeigen, dass explosives Krafttraining mit geringem Widerstand die größten Effekte auf das Gleichgewicht hatte und dass dieser Effekt bei den Teilnehmern am stärksten ausgeprägt war, die vor dem Training eine niedrige Leistung auswiesen.

Fazit

Gleichgewicht scheint keine allgemeine Fähigkeit zu sein, sondern eine Ansammlung von Fertigkeiten. Mit anderen Worten: Das Training einer Gleichgewichtsaufgabe wirkt sich auf die Leistung in dieser Aufgabe aus; es ist jedoch in der Regel kein Transfer auf untrainierte Gleichgewichtsaufgaben zu erwarten, selbst wenn diese der trainierten Aufgabe ähnlich sind. Auch das Training mehrerer verschiedener Gleichgewichtsaufgaben und mit verschiedenen Geräten erleichtert das Erlernen einer unbekannteren Gleichgewichtsaufgabe nicht. Es scheint jedoch einen Zusammenhang zu geben zwischen körperlichen Voraussetzungen wie etwa der Leistung der Beinstrecker und der Lerngeschwindigkeit in unbekannteren Gleichgewichtsaufgaben.

Als wichtigste Konsequenz für die Trainingspraxis ergibt sich, dass gut analysiert werden sollte, welches die häufigsten Situationen sind, die zu Stürzen oder Verletzungen führen, um diese dann so spezifisch wie möglich zu trainieren. Die Wirksamkeit eines Gleichgewichtstrainings sollte mit Gleichgewichtstests überprüft werden, die eine hohe funktionelle Relevanz haben und auf das jeweilige Ziel des Trainings abgestimmt sind. Bei Defiziten in der körperlichen Leistungsfähigkeit kann ein maßgeschnei-

ertes Krafttraining zur Steigerung der Leistung der relevanten Beinmuskeln zudem eine sinnvolle Ergänzung sein.

TAKE HOME MESSAGE

Gleichgewichtstraining wird vielfach in der Sturzprävention sowie in der Prävention und Rehabilitation von Sprunggelenksverletzungen eingesetzt. Die Ergebnisse neuerer Studien stellen jedoch infrage, ob reines Gleichgewichtstraining tatsächlich dazu in der Lage ist, die Reaktion auf unbekanntere, untrainierte Situationen – also Verletzungs- und Sturzsituationen – zu verbessern oder ob nur spezifisch diejenigen Gleichgewichtsaufgaben eine Verbesserung zeigen, die auch trainiert wurden.

Aus den Studien ergibt sich, dass nach dem Training einer Gleichgewichtsaufgabe eine signifikante Verbesserung nur in dieser Aufgabe zu erwarten ist, nicht jedoch in untrainierten, unbekannteren Gleichgewichtsaufgaben, selbst wenn diese der trainierten Aufgabe ähnlich sind. Auch das Training mehrerer verschiedener Gleichgewichtsaufgaben und mit verschiedenen Geräten erleichtert das Erlernen einer unbekannteren Gleichgewichtsaufgabe in der Regel nicht. Es scheint jedoch einen Zusammenhang zu geben zwischen körperlichen Voraussetzungen wie etwa der Leistung der Beinstrecker und der Lerngeschwindigkeit in unbekannteren Gleichgewichtsaufgaben.

Für die Trainingspraxis ergibt sich, dass dem Training des Gleichgewichts, insbesondere im Hinblick auf die Prävention von Verletzungen und Stürzen, eine genaue Analyse der Situationen vorausgehen sollte, welche ein erhöhtes Risiko für Verletzungen und Stürze mit sich bringen. So kann ein spezifisches Training geplant werden. Bei Defiziten in der körperlichen Leistungsfähigkeit kann ein maßgeschneidertes Krafttraining zur Steigerung der Leistung der relevanten Beinmuskeln zudem eine sinnvolle Ergänzung sein.

Autorinnen/Autoren



Andreas Kramer

Dr. Andreas Kramer promovierte von 2008 bis 2010 an der Universität Freiburg und ist seit 2011 in der Sportwissenschaft der Universität Konstanz tätig und dort für den Bereich Neuromechanik zuständig. Einige seiner wissenschaftlichen Schwerpunkte sind motorisches Lernen, Sturzprävention und effektive und effiziente Maßnahmen gegen die Auswirkungen körperlicher Inaktivität.



Louis-Solal Giboin

Dr. Louis-Solal Giboin promovierte von 2010 bis 2013 in der Neurowissenschaft in Paris und ist seit 2014 akademischer Mitarbeiter in der Fachgruppe Sportwissenschaft der Universität Konstanz. Wissenschaftlich beschäftigt er sich vor allem mit neuronaler Plastizität beim motorischen Lernen und bei Trainingsprozessen, vor allem am Beispiel Gleichgewichtstraining.

Korrespondenzadresse

PD Dr. Andreas Kramer

FG Sportwissenschaft
Sensorimotor Performance Lab
Universität Konstanz
78457 Konstanz
andreas.kramer@uni-konstanz.de

Literatur

- [1] Kramer A, Gruber M, Dettmers C. Gleichgewichtstraining in der neurologischen Rehabilitation. *Neurologie & Rehabilitation* 2013; 19: 27–34
- [2] Giboin LS, Gruber M, Kramer A. Task-specificity of balance training. *Hum Mov Sci* 2015; 44: 22–31
- [3] Kummel J, Kramer A, Giboin LS et al. Specificity of balance training in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2016; 46: 1261–1271

- [4] Seidler RD. Multiple motor learning experiences enhance motor adaptability. *J Cogn Neurosci* 2004; 16: 65–73
- [5] Brown AL, Kane MJ. Preschool children can learn to transfer: Learning to learn and learning from example. *Cogn Psychol* 1988; 20: 493–523
- [6] Bejjanki VR, Zhang R, Li R, Pouget A et al. Action video game play facilitates the development of better perceptual templates. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2014; 111: 16961–66
- [7] Kattner F, Cochrane A, Cox CRet al. Perceptual learning generalization from sequential perceptual training as a change in learning rate. *Curr Biol* 2017; 27: 840–846
- [8] Braun DA, Aertsen A, Wolpert DM. et al. Motor task variation induces structural learning. *Curr Biol* 2009; 19: 352–357
- [9] Giboin LS, Gruber M, Kramer A. Motor learning of a dynamic balance task: Influence of lower limb power and prior balance practice. *J Sci Med Sport* 2018. doi:10.1016/j.jsams.2018.05.029
- [10] Gusi N, Carmelo Adsuar J, Corzo Het al. Balance training reduces fear of falling and improves dynamic balance and isometric strength in institutionalised older people: A randomised trial. *J Physiother* 2012; 58: 97–104
- [11] Gruber M; Gollhofer A. Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol* 2004; 92: 98–105
- [12] Hammami R, Chaouachi A, Makhlof let al. Associations between balance and muscle strength, power performance in male youth athletes of different maturity status. *Pediatr Exerc Sci* 2016; 28: 521–534.
- [13] Orr R, Raymond J,Fiatarone Singh M. Efficacy of progressive resistance training on balance performance in older adults: A systematic review of randomized controlled trials. *Sports Med* 2008; 38: 317–343
- [14] Orr R, de Vos NJ, Singh NA et al. Power training improves balance in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2006; 61, 78–85

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0818-3129>
Sportphysio 2019; 7: 16–21
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 2196-5951