

Einfluss von Dual-Task Gleichgewichtstraining auf die Gleichgewichtsleistung bei jungen Erwachsenen unter Single- und Dual-Task Bedingungen

Masterarbeit

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Célestine Schreiber

an der
Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät
Abteilung Medizin
Departement für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Prof. Dr. Wolfgang Taube

Betreuer
Dr. Michael Wälchli

Freiburg, August 2024

Dank

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mich während der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben. Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Michael Wälchli, der diese Arbeit nicht nur begleitet und begutachtet, sondern auch durch wertvolle Anregungen und konstruktive Kritik massgeblich bereichert hat. Ich danke auch Jan Ruffieux, Yves-Alain Kuhn, Sven Egger, Matteo Bugnon und Selin Scherrer für ihre wertvolle Unterstützung bei den begleitenden Massnahmen. Ein besonderer Dank gilt Craig Tokuno, der durch seine Teilnahme an den Labortests und die Bereitstellung der Daten einen unentbehrlichen Beitrag geleistet hat. Mein Dank richtet sich ebenso an alle Teilnehmenden dieser Studie, deren Engagement, Trainingsbereitschaft und Durchhaltevermögen diese Forschung erst ermöglicht haben. Abschliessend möchte ich all jenen danken, die durch Korrekturlesen und moralische Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zusammenfassung

Einleitung. Das gleichzeitige Ausführen von zwei Aufgaben (Dual-Tasking), insbesondere in Verbindung mit Gleichgewichtsaufgaben und der posturaler Kontrolle, ist ein alltägliches Phänomen. Die Untersuchung der Auswirkungen von Dual-Tasks (DT) auf das Gleichgewicht ist wichtig, da das Hinzufügen einer zweiten Aufgabe zu Interferenzen führen kann, deren Auswirkungen mit dem Alter variieren. Effektive Trainingsstrategien zur Verbesserung des Gleichgewichts könnten helfen, alters- oder krankheitsbedingte Beeinträchtigungen frühzeitig zu erkennen und zu behandeln. Trotz der Relevanz haben bisher nur wenige Studien den Einfluss von Gleichgewichtstraining auf die DT-Leistung bei gesunden Erwachsenen untersucht.

Ziel. Das Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob ein allgemeines DT-Gleichgewichtstraining zu einer besseren Gleichgewichtsleistung führt und ob sich eine zweite motorische oder kognitive Aufgabe ebenfalls dadurch verbessert.

Methode. Die Studie wurde mit insgesamt 28 jungen Erwachsenen (14 Frauen, 14 Männer) im Alter von 24.39 ± 3.15 Jahren durchgeführt, welche nach Zufallsprinzip in zwei Gruppen eingeteilt wurde: Eine Interventionsgruppe (DUAL) und eine Kontrollgruppe (CONT). Beide Gruppen absolvierten einen Pre- und Posttest auf einer instabilen Plattform im Abstand von drei Wochen. Die DUAL-Gruppe führten während diesen drei Wochen sechs allgemeine DT-Gleichgewichtstrainingseinheiten durch, die CONT-Gruppe absolvierte keine Trainings.

Resultate. Die Ergebnisse zeigten eine signifikante Verbesserung im Sway der DUAL-Gruppe unter der Bedingung «Hard balance + Motor», die CONT-Gruppe zeigte signifikante Verbesserungen unter den Bedingungen «Easy balance + Cognitive» und «Hard balance + Cognitive». Die DUAL-Gruppe konnte unter der «Easy»- und «Hard»-Bedingung ihre Leistung der motorischen Aufgabe signifikant verbessern. Es gab keine signifikanten Veränderungen beim Sway unter Single-Task-Bedingungen, bei der kognitiven Aufgabe oder den Dual-Task-Costs (DTC).

Konklusion. Allgemeines DT-Training kann die Gleichgewichtsleistung unter DT-Bedingungen sowie die motorische Zweitaufgabe verbessern. Das DT-Training war wenig effektiv in der Verbesserung der Gleichgewichtsleistung unter Single-Task-Bedingungen und zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die DTC und die kognitive Zweitaufgabe. Die DUAL-Gruppe zeigte nach dem Training eine signifikante Leistungsverbesserung im Gleichgewicht und der motorischen Zweitaufgabe unter der schwierigen Bedingung. Da sich auch die CONT-Gruppe verbessert hat und methodische Einschränkungen bestehen, sind die Ergebnisse vorsichtig zu interpretieren. Zukünftige Studien sollten aktuelle Trainingsansätze und eine spezifische DT-Trainingsgruppe berücksichtigen, um genauere Erkenntnisse zu gewinnen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
1.1 Gleichgewicht.....	5
1.2 Dual-Task und Interferenz.....	7
1.3 Entwicklung im Verlauf des Lebens	12
1.4 Gleichgewichtstraining.....	17
1.5 Ziel der Arbeit	24
2 Methode.....	25
2.1 Stichprobe.....	25
2.2 Design der Studie	26
2.3 Gleichgewichtstrainings	30
2.4 Datenerhebung	32
2.5 Datenanalyse	33
3 Resultate	35
3.1 Single-Task – Gleichgewicht	35
3.2 Dual-Task kognitiv.....	37
3.3 Dual-Task motorisch	43
3.4 Zusammenfassung	49
4 Diskussion	50
4.1 Einfluss des DT-Trainings auf die ST-Gleichgewichtsleistung	50
4.2 Einfluss des DT-Trainings auf die DT-Leistung.....	51
4.3 Einfluss des DT-Trainings auf die Entwicklung der DTC	54
4.4 Limitationen	55
4.5 Ausblick	57
5 Schlussfolgerung	58
Literatur	59
Anhang	63

1 Einleitung

1.1 Gleichgewicht

Der Begriff Gleichgewicht wird von Experten in vielen unterschiedlichen klinischen Fachrichtungen oft genutzt. Dennoch existiert keine universell akzeptierte Definition des menschlichen Gleichgewichts oder ähnlicher Begriffe.

Olivier et al. (2013) unterscheiden zwischen zwei Arten des Gleichgewichts: dem physikalischen und dem motorischen Gleichgewicht. Das physikalische Gleichgewicht setzt einen starren Körper voraus, weshalb es auf den menschlichen Körper nicht zutrifft und für diese Arbeit nicht relevant ist. Ein menschlicher Körper befindet sich im motorischen Gleichgewicht, wenn die Gesamtkraft und das Gesamtdrehmoment innerhalb bestimmter Grenzwerte bleiben. Diese Grenzwerte sind abhängig von der jeweiligen Aufgabe sowie den individuellen Voraussetzungen (z.B. dem Fähigkeitsniveau) und äusseren Bedingungen (z.B. rutschige Standfläche).

Pollock et al. (2000) definieren menschliches Gleichgewicht als die Fähigkeit, nicht zu fallen. Dabei führen sie den Begriff der Haltungssteuerung als Teil des Gleichgewichts ein. Damit ist das Aufrechterhalten, Erreichen oder Wiederherstellen des Gleichgewichts während einer Aktivität oder Körperhaltung gemeint. Dafür ist eine Zusammenarbeit zwischen dem sensorischen System (Augen, Innenohr und sensorische Rezeptoren in den Füßen und Muskeln), dem zentralen Nervensystem und den Muskeln, die Haltung und Bewegungen steuern, erforderlich. Bereits für eine normale Haltungskontrolle wird die Gesamtheit eines komplexen Netzwerks sensorischer, integrativer und reaktiver Prozesse vorausgesetzt. Detaillierte Informationen über die Umgebung werden vom visuellen System, der Propriozeption und dem vestibulären System geliefert. Interozeptive Informationen werden über interne Rückkopplungspfade wie der spinale Dehnungsreflex und langlatenzierte Reflexe bereitgestellt. Diese externen und internen Inputs werden vor allem auf reflexiver Ebene integriert. Dies resultiert in einer koordinierten motorischen Reaktion zur Stabilisierung der Körperhaltung (Colledge et al., 2009).

Um das Gleichgewicht zu halten, greift der menschliche Körper auch auf verschiedene koordinative Fähigkeiten zurück, wobei die Gleichgewichtsfähigkeit eine zentrale Rolle spielt. Unter Gleichgewichtsfähigkeit versteht Friedrich (2022) die Aufrechterhaltung und Wiederherstellung von statischer und dynamischer Gleichgewichtsformen während und nach Bewegungsvollzügen. Diese Fähigkeit ist entscheidend für die Stabilität und Wiederherstellung des Gleichgewichts bei statischen und dynamischen Bewegungen. Es werden aber auch andere koordinative

tive Fähigkeiten beansprucht: Wichtig für das Gleichgewicht sind die räumliche Orientierungsfähigkeit sowie die kinästhetische Differenzierungsfähigkeit. Bei komplexen Bewegungen im Sport kommen stets verschiedene koordinative Fähigkeiten zum Einsatz, die sich oft überschneiden und in einer Art Abhängigkeitsverhältnis zueinander stehen.

Eine wichtige Ressource für das Gleichgewicht ist die Aufmerksamkeit. Bereits für die posturale Kontrolle wird unsere Aufmerksamkeit beansprucht. Je nach Art und Komplexität der Gleichgewichtsaufgabe und ob noch eine zweite Aufgabe dazu kommt, wird unterschiedlich viel Aufmerksamkeit benötigt (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Dabei kann ein externer Fokus der Aufmerksamkeit die Gleichgewichtsleistung verbessern, da der externe Fokus der Aufmerksamkeit zu einem funktionellen Anstieg der Hirnaktivität führt (Sherman et al., 2021). Gleichgewichtsprogramme, oft in Kombination mit Krafttraining, sind ein wesentlicher Bestandteil der öffentlichen Gesundheitsförderung und der Zugang zu diesen Programmen sollte verbessert werden, um eine breitere Bevölkerungsgruppe zu erreichen. Gleichgewicht ist ein wichtiger Faktor in der Sturzprävention und um die Schwere von Sturzverletzungen zu verringern, wobei vor allem ältere Personen davon betroffen sind (Taing & McKay, 2017). Verschiedene Gleichgewichtsprogramme für ältere Personen zeigen, dass nebst dem verbesserten Gleichgewicht und der Reduktion der Sturzgefahr auch die körperliche Leistungsfähigkeit verbessert und Behinderungen stabilisiert oder verringert werden können (Judge, 2003). Gleichgewichtstraining erhöht gerade bei älteren Personen das selbst wahrgenommene Gleichgewichtselbstvertrauen, selbst wenn das Gleichgewicht objektiv nicht signifikant verbessert wurde (Schilling et al., 2009).

Ein gutes Gleichgewicht ist nicht nur für ältere Personen wichtig. In jedem Alter wird ein gutes Gleichgewicht für viele alltägliche Aktivitäten wie Gehen, sich drehen, Treppensteigen, einfach stehen und natürlich beim Sporttreiben benötigt. Der Review von Zech et al. (2010) zeigt auf, dass Gleichgewichtstraining bei jungen Erwachsenen effektiv zur Verbesserung der Haltungskontrolle und neuromuskulären Kontrolle beitragen kann. Dabei sehen sie Potential in der Rehabilitation als auch in der Prävention, um z.B. langfristige Funktionseinschränkungen vorzubeugen.

Ein spezifisches sensomotorisches Gleichgewichtstraining kann zu einer signifikanten Verbesserung der Kraftentwicklungsrate der Beinstreckmuskulatur führen. Dies kann die Explosivkraft sowie die Gelenkstabilität positiv beeinflussen und bei verschiedenen sportlichen Leistungen von Vorteil sein (Gruber & Gollhofer, 2004). Des Weiteren sind Schwächen in der Haltungskontrolle und Muskelkraft bedeutende Risikofaktoren für Verletzungen, weshalb ein gutes Gleichgewicht unerlässlich ist. Da die Prävalenz von Sportverletzungen bei Erwachsenen hoch

ist, ist es sinnvoll, das Gleichgewicht durch lebenslanges Training zu fördern und zu erhalten (Granacher et al., 2010).

Die Studie von Giboin et al. (2015), in welcher Teilnehmer ein zweiwöchiges Gleichgewichtstraining absolvierten, belegt, dass die Effekte des Gleichgewichtstrainings stark aufgabenspezifisch sein können und sich nur begrenzt oder gar nicht auf andere Gleichgewichtsaufgaben übertragen lassen. Das in dieser Studie durchgeführte Gleichgewichtstraining verbesserte die Leistung nur bei der spezifischen trainierten Aufgabe. Dieses Resultat bestätigt sich wiederum in der Studie von Giboin et al. (2018), in welcher die Teilnehmenden ein dreimonatiges Slackline-Training durchführten und nur aufgabenspezifische Verbesserungen der Gleichgewichtsleistung festgestellt wurden. Diese Ergebnisse unterstützen das Konzept, dass Gleichgewicht keine allgemeine Fähigkeit ist, sondern aus spezifischen Fähigkeiten besteht. Sollte dies zutreffen, scheint es nicht ratsam, allgemeine Gleichgewichtstest zur Bewertung von spezifischen Anpassungen des Gleichgewichtstrainings zu verwenden.

Abschliessend lässt sich festhalten, dass die Aufmerksamkeit einen wesentlichen Faktor für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts darstellt, wobei ein externer Fokus der Aufmerksamkeit die Leistungsfähigkeit verbessern kann. Die Art und Komplexität der Gleichgewichtsaufgabe können die Anforderungen an die Aufmerksamkeit erhöhen, insbesondere wenn eine zweite Aufgabe gleichzeitig ausgeführt wird. Es wird allgemein angenommen, dass das Gleichgewicht keine allgemeine Fähigkeit ist und daher nur aufgabenspezifisch trainiert werden kann. Dies impliziert, dass nach einem Training nur eine geringe bis gar keine Übertragung der erlernten Fähigkeiten auf andere, nicht trainierte Gleichgewichtsaufgaben stattfindet.

1.2 Dual-Task und Interferenz

Dual-Tasking, also das gleichzeitige Ausführen von zwei Aufgaben, ist im Alltag eher die Norm als die Ausnahme und wird generell problemlos bewältigt. Die meisten Menschen können ohne Probleme gleichzeitig gehen und telefonieren. Auch im Sport gibt es viele Aufgaben, die von den Athleten gleichzeitig ausgeführt werden, ohne dass sie dabei auf Probleme stossen. Dies liegt daran, dass die posturale Aufgabe wie das Gehen oder im Gleichgewicht bleiben automatisiert ist und dadurch nur wenig bis zu gar keiner Aufmerksamkeit für die Ausführung benötigt. In Situationen, in welchen die Haltungskontrolle mehr Verarbeitung und Aufmerksamkeit erfordert, können kognitive Ressourcen durch zusätzliche Aufgaben überlastet werden. Dies kann dazu führen, dass die Ausführung der sonst einfachen motorischen Aufgabe beein-

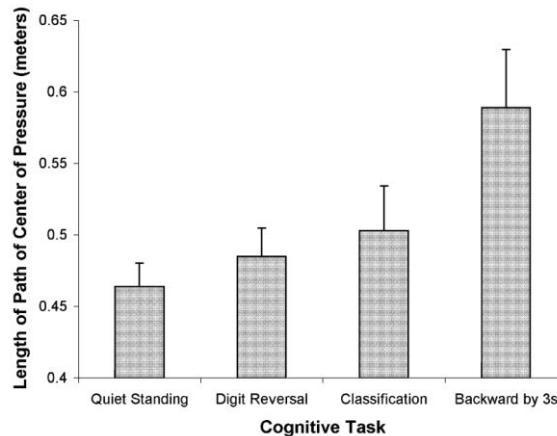
trächtigt wird (Ruffieux et al., 2015). Das Hinzufügen einer zweiten Aufgabe zu einer bestehenden Aufgabe kann zu einer Leistungsminderung bei einer oder beiden Aufgaben führen, was als Interferenz bezeichnet wird (Pellecchia, 2005).

Um diese Interferenz zu quantifizieren, verwendet man den Begriff der Dual-Task-Costs (DTC). Die DTC repräsentieren den quantitativen Leistungsverlust, der bei der gleichzeitigen Ausführung von zwei Aufgaben im Vergleich zur einzelnen Ausführung entsteht. Zur Berechnung der DTC wird häufig die Leistung unter Single-Task-Bedingungen mit der Leistung unter Dual-Task-Bedingungen verglichen und als Differenz oder Prozentsatz dargestellt. Sind die DTC positiv, bedeutet das, dass die Leistung der Hauptaufgabe unter der Dual-Task-Bedingung abnimmt. Wenn eine Person beispielsweise auf einer Slackline balanciert und dann eine kognitive Aufgabe wie Rückwärtszählen ausführt, sind die DTC positiv, wenn sich ihre Leistung auf der Slackline durch die zusätzliche Aufgabe verschlechtert. Dies zeigt, dass die zusätzliche kognitive Belastung die Stabilität und Kontrolle beim Balancieren beeinträchtigt. Wenn die DTC hingegen negativ sind, deutet dies darauf hin, dass sich die Leistung der Hauptaufgabe unter der Dual-Task-Bedingung verbessert hat. Steht eine Person beispielsweise auf einem Balancebrett und gleichzeitig eine einfache kognitive Aufgabe wie das Aufzählen von Obstsorten durchführt, könnten die DTC negativ sein, wenn sich ihre Leistung auf dem Balancebrett durch die zusätzliche Aufgabe verbessert.

Die Studie von Pellecchia (2003) zeigt, dass das Schwanken der Körperhaltung beim Stehen auf einer instabilen Oberfläche zunimmt, wenn die Schwierigkeit der gleichzeitig ausgeführten kognitiven Aufgabe steigt (siehe Abbildung 1). An dieser Studie nahmen zwanzig gesunde Erwachsene im Alter von 18 bis 30 Jahren teil. Die Teilnehmer mussten auf einer 10 cm dicken Schaumstoffmatte stehen, während sie über ein Tonband zufällig ausgewählte Zahlenpaare hörten. Dazu wurden kognitive Aufgaben durchgeführt, die mit zunehmender Schwierigkeit die Stabilität beeinflussen sollten. Die Aufgaben umfassten das ruhige Stehen, das Umkehren der Reihenfolge eines Ziffernpaares, die Klassifizierung einer zweistelligen Zahl (nach den Kriterien niedrig/hoch und gerade/ungerade) sowie das Rückwärtszählen in Dreierschritten von einer zufällig ausgewählten dreistelligen Zahl. Die Daten zum Körperschwerpunkt wurden während des Tests mit einem AMTI Accusway System zur Messung des Gleichgewichts und der posturalen Schwankung erfasst.

Abbildung 1

Entwicklung des posturalen Schwankens unter verschiedenen Aufgaben



Anmerkung. Die Abbildung zeigt wie das Schwanken der Körperhaltung beim Stehen auf einer instabilen Oberfläche mit zunehmender kognitiver Aufgabenschwierigkeit zunimmt (Pellecchia, 2003).

In ihrer Studie konzentrierten sich Swan et al. (2007) ausschliesslich auf Frauen (im Alter von 18 bis 27 Jahren), um geschlechtsspezifische Unterschiede in der durchschnittlichen Position des Druckzentrums zu berücksichtigen. Zur Messung des posturalen Schwankens wurde eine Kraftplatte eingesetzt, die computergestützte Posturographie verwendet. Die Teilnehmerinnen wurden verschiedenen Gleichgewichtsaufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad zugeteilt: (1) Stehen mit geschlossenen Füßen (einfach), (2) Stehen mit geschlossenen Füßen bei gleichzeitiger Vibrationsstimulation der Haut über den Gastrocnemius-Muskel beider Beine (mittel) und (3) Tandemstand (schwer). Während der Aufgaben hatten alle Teilnehmerinnen die Augen verbunden und die Arme vor der Brust gekreuzt. Die kognitive Aufgabe bestand aus Brooks-Aufgaben, die räumliche und Nonsens-Sätze in zwei Schwierigkeitsstufen umfassten. In der räumlichen Brooks-Aufgabe wurde die Position von Zahlen in einem 4x4-Gitter beschrieben, und die Teilnehmer mussten diese Zahlen gemäss den gehörten Anweisungen im Gitter platzieren. Bei der Nonsens-Brooks-Aufgabe erfolgte das gleiche Verfahren, jedoch wurden die Richtungswörter (oben, unten, rechts, links) durch willkürliche Wörter wie gut, schlecht, langsam und schnell ersetzt. In der einfachen Schwierigkeitsstufe wurden die Zahlen in aufsteigender Reihenfolge angegeben, während sie in der schwierigen Stufe in zufälliger Reihenfolge angeordnet wurden. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass das posturale Schwanken signifikant abnimmt, wenn schwierige kognitive Aufgaben durchgeführt werden,

während bei einfachen kognitiven Aufgaben keine signifikante Abnahme festgestellt wurde. Es scheint, dass eine Erhöhung der kognitiven Aufgabenschwierigkeit das posturale Schwanken reduziert. Diese Beobachtung könnte darauf hindeuten, dass die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf die motorische Aufgabe die Ausführung stören kann, wenn diese automatisiert ist. Durch das Einführen einer kognitiven Zweitaufgabe wird die Aufmerksamkeit von der motorischen Aufgabe weggelenkt, wodurch Überkorrekturen vermieden werden.

In einer Studie von Mujdeci et al. (2016) wurde zuerst das Gleichgewicht und eine kognitive Aufgabe separat getestet, anschliessend gleichzeitig. Während des Gleichgewichtstests wurde die posturale Stabilität mit Hilfe der Computerized Dynamic Posturography untersucht. Alle Teilnehmenden durchliefen dafür sechs Bedingungen, wobei die Augen entweder offen oder geschlossen, die Unterlage stabil oder instabil und die Umgebung fest oder schwankungsbezogen war. Die kognitive Aufgabe bestand aus einem Ziffernfolgetest, welcher mit auditiver, visueller und auditiv-visueller Mischpräsentation vorgelegt wurde und die Teilnehmenden wurden gebeten, die Reihenfolge zu wiederholen. Die Ergebnisse zeigten für vier der Dual-Task-Tests einen signifikanten Anstieg der posturalen Schwankung für die relativ einfachen Gleichgewichtsbedingungen, bei welchen die Unterlage stabil war oder nur einer der visuellen und propriozeptiven Wahrnehmungseingänge verzerrt oder nicht vorhanden war. Dieser Anstieg wurde für alle Präsentationsarten und Schwierigkeitsgrade der kognitiven Aufgabe festgestellt. Dieser Befund bestätigt wiederum die Ergebnisse von Pellecchia (2003), dass das Schwanken der Körperhaltung unter Dual-Task-Bedingungen zunimmt. Es ist möglich, dass sich das verstärkte Schwanken unter Dual-Task-Bedingung durch geteilte Aufmerksamkeit erklären lässt. Es ist ebenso möglich, dass die posturalen und kognitiven Aufgaben während des Dual-Tasks um zentrale Verarbeitungs- oder Aufmerksamkeitsressourcen konkurrieren, wodurch es zu einer Leistungsabnahme bei einer der Aufgaben kommt. Eine Erklärung für die stabile Körperhaltung unter den beiden anspruchsvolleren Gleichgewichtsbedingungen mit Dual-Task-Aufgabe könnte darin liegen, dass die Teilnehmenden ihre Aufmerksamkeit von einem internen Fokus (Gleichgewicht) auf einen externen Fokus (kognitive Aufgabe) verlagert haben. Das Loslösen der Aufmerksamkeit auf eine gleichzeitige Aufgabe, könnte der posturalen Kontrolle ermöglicht haben, auf eine automatischere und effizientere Weise zu arbeiten (Mujdeci et al., 2016).

Die Gehleistung kann ebenso aufgrund von motorischen oder kognitiven Zweitaufgaben abnehmen. Beurskens et al. (2016) führten eine Studie mit 12 gesunde Erwachsene im Alter von 20 bis 28 Jahre durch, welche drei Bedingungen ausgesetzt wurden: Gehen im selbst gewählten

Tempo, Gehen mit kognitiver Interferenz und Gehen mit motorischer Interferenz. Bei der kognitiven Aufgabe mussten die Teilnehmer bei tiefen Tönen einen Knopf drücken und bei hohen Tönen nicht. Eine kürzere Reaktionszeit deutete dabei auf eine bessere Leistung hin. Bei der motorischen Aufgabe mussten sie zwei Stöcke mit ineinandergreifenden Ringen halten und vermeiden, dass die Ringe sich berühren. Hier wurde die Gesamtkontaktzeit zwischen den Ringen gemessen. Beide Interferenzaufgaben wurden auch im Sitzen ausgeführt, um einen Vergleichswert zu erhalten. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl das Gehen mit kognitiver als auch mit motorischer Interferenz die Gehgeschwindigkeit und die Schrittlänge verringerte. Gleichzeitig wurden die Schrittzeit und die Gangvariabilität im Vergleich zum Gehen ohne zusätzliche Aufgabe grösser. Diese Resultate stimmen mit den etablierten kognitiven Theorien überein, die besagen, dass Dual-Task-Situationen die kognitiven Fähigkeiten überfordern, was wiederum zu einer Abnahme der motorischen Leistung führt.

Ward et al. (2022) untersuchten die Auswirkungen verschiedener kognitiver Aufgaben auf die Leistung bei einer motorischen Gleichgewichtsaufgabe auf stabilen und instabilen (Schaumstoff-) Unterlagen. Die Teilnehmenden umfassten eine Gruppe junger Erwachsener im Alter von 18 bis 35 Jahren sowie eine Gruppe von Personen im Alter von 60 Jahren und älter. Zunächst absolvierten die Teilnehmenden die Gleichgewichtsaufgaben ohne Zusatzaufgabe auf der stabilen und der instabilen Unterlage, während sie ein Tablet hielten. Anschliessend führten sie die Gleichgewichtsaufgabe gleichzeitig wie eine kognitive Aufgabe (u.a. 2-back Test, Stroop Test) auf dem Tablet sowohl auf der stabilen als auch auf der instabilen Unterlage durch. Die Gleichgewichtsdaten wurden mithilfe von APDM Opal Sensoren gemessen, die an verschiedenen Stellen des Körpers getragen wurden. Dabei wurde die Variabilität des Druckmittelpunkts anhand der Beschleunigung des Schwankens gemessen. Die Studie zeigte, dass junge Erwachsene beim Balancieren während des 2-back Tests stabiler waren als ältere Erwachsene. Obwohl ältere Erwachsene auf der instabilen Oberfläche mehr Schwankungen aufwiesen, gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen der stabilen und instabilen Oberfläche bei kognitiver Belastung. Kognitive Aufgaben erhöhten allgemein die Schwankungen beider Gruppen. Überraschenderweise hatte die Art der kognitiven Aufgabe (exekutive Funktionen vs. nicht-exekutive Funktionen) keinen Einfluss auf das Gleichgewichtsverhalten. Dies deutet darauf hin, dass das Gleichgewicht durch jede kognitive Belastung beeinträchtigt wird und posturale Kontrolle generell kognitive Ressourcen braucht.

Li et al. (2001) stellten fest, dass junge Erwachsene bei der gleichzeitigen Ausführung einer kognitiven Aufgabe und einer Gehaufgabe generell die kognitive Aufgabe priorisieren. Kinder und ältere Erwachsene hingegen geben tendenziell der Gehleistung Vorrang. Dies wird durch

die Beobachtung unterstützt, dass jüngere Erwachsene keine signifikanten DTC bei der gleichzeitigen Ausführung beider Aufgaben aufwiesen, während ältere Erwachsene bei erschwerter Gehaufgabe signifikante DTC zeigten.

Das Verständnis der Veränderungen von DTC und Gleichgewicht im Laufe des Lebens ist essenziell, um die Entwicklung der kognitiven und motorischen Mechanismen zu erfassen. Dies ermöglicht nicht nur Einblicke in die altersbedingten Anpassungen dieser Prozesse, sondern trägt auch zur Entwicklung gezielter Interventionen zur Förderung der kognitiven und motorischen Gesundheit bei verschiedenen Altersgruppen bei.

Zusammenfassend zeigt sich, dass das gleichzeitige Ausführen einer Zweitaufgabe die sonst einfache motorische Aufgabe (das Gleichgewicht aufrechterhalten) beeinträchtigen kann, insbesondere wenn die Situation eine erhöhte Aufmerksamkeit und Verarbeitung für die Haltungskontrolle erfordert. Die in dieser Situation auftretende Leistungsabnahme wird als Interferenz bezeichnet, während deren Quantifizierung als Dual-Task-Costs (DTC) bekannt ist. Bei Aufgaben der Haltungskontrolle nimmt das Schwanken mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit zu, wobei Unterschiede zwischen motorischen und kognitiven Zweitaufgaben erkennbar sind. Motorische Zweitaufgaben scheinen die Haltungskontrolle generell zu beeinträchtigen, während einige kognitive Zweitaufgaben das posturale Schwanken verringern können. Kognitive Zweitaufgaben können als eine Art externer Anker wirken und die Aufmerksamkeit auf einen externen Fokus lenken, was zu einer Verbesserung der posturalen Kontrolle führt. Die beobachtete Leistungsabnahme könnte möglicherweise darauf zurückzuführen sein, dass Dual-Task-Situationen die kognitiven Fähigkeiten überlasten und nicht ausreichenden Ressourcen zur Verfügung stehen.

1.3 Entwicklung im Verlauf des Lebens

1.3.1 Entwicklung des Gleichgewichts

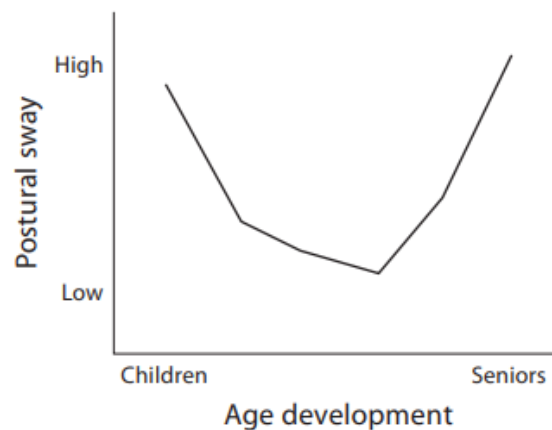
Die posturale Kontrolle kann als dynamischer Prozess beschrieben werden, der sich über die gesamte Lebensspanne hinweg verändert. Studien zeigen, dass die grössten posturalen Schwankungen bei jungen Kindern und älteren Erwachsenen gefunden werden. Daraus kann eine U-förmige Beziehung zwischen Messungen des statischen Gleichgewichts und dem Alter abgeleitet werden (siehe Abbildung 2; Granacher et al., 2011).

In einem Review von Granacher et al. (2011) wurden bei Kindern bis zu einem Alter von acht Jahren im Vergleich zu jungen gesunden Erwachsenen Entwicklungsdefizite in der posturalen

Kontrolle festgestellt. Diese Defizite äusserten sich in stärkerem posturalen Schwanken, geringerer Ganggeschwindigkeit und grösserer Schrittvariabilität. Zudem hatten die Kinder grössere Schwierigkeiten, ihr Gleichgewicht zu halten, wenn die Standfläche gestört wurde. Kinder unter 7,5 Jahren sind weniger in der Lage, störende visuelle und somatosensorische Reize zu unterdrücken, wenn sie sich auf einer bewegenden Unterlage befinden. Im frühen Kindesalter verlagert sich die Kontrolle der Körperhaltung von einer primär visuell-vestibulären Steuerung hin zu einer somatosensorisch-vestibulären Steuerung. Die Entwicklung hin zu den Reaktionsmustern von Erwachsenen in sämtlichen sensorischen Bereichen ist in diesem Alter noch nicht vollständig abgeschlossen.

Abbildung 2

Entwicklung des statischen Gleichgewichts im Verlauf des Lebens



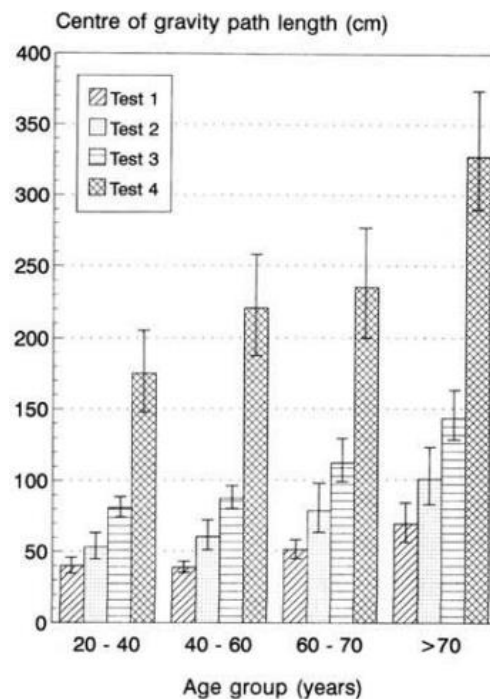
Anmerkung. Die Abbildung zeigt die Entwicklung des statischen Gleichgewichts (posturales Schwanken) vom Kindes- bis zum Seniorenalter. Die Darstellung verdeutlicht, dass die Entwicklung des Gleichgewichts eine U-förmige Kurve über die Lebensspanne aufweist (Granacher et al., 2011).

Colledge et al. (2009) führten eine Studie durch, die vier verschiedene Altersgruppen umfasste: junge Erwachsene im Alter von 20 bis 40 Jahren, Erwachsene im mittleren Alter von 40 bis 60 Jahren, ältere Erwachsene im Alter von 60 bis 70 Jahren sowie Senioren über 70 Jahren. Für die Messungen der posturalen Schwankungen standen die Teilnehmer auf einer Kraftplatte. Auf dieser absolvierten sie vier Testbedingungen, wobei sie entweder auf einer festen Unterlage oder auf einer 10 cm dicken Schaumstoffunterlage standen und die Augen entweder offen oder geschlossen hielten. Die Ergebnisse zeigten, dass die posturale Schwankungen für alle Bedingungen linear mit dem Alter zunahm (siehe Abbildung 3). Die Schwankung nahm in jeder

Gruppe bei Verlust der visuellen Informationen deutlich zu. Beim Stehen auf einer instabilen Unterlage, wodurch die Teilnehmer keine zuverlässige Propriozeption mehr hatten, nahm die Schwankung noch weiter zu. Am grössten war die Schwankung beim Verlust von beiden, visuellen und propriozeptiven Informationen. Diese Resultate bestätigen, dass sich Teilnehmer in allen Altersgruppen mehr auf Propriozeption als auf visuellen Input verlassen. Wenn keine zuverlässigen propriozeptiven Informationen vorhanden sind, dann wird der visuelle Input wichtiger für das Erhalten des Gleichgewichts.

Abbildung 3

Posturale Schwankung in verschiedenen Altersgruppen unter verschiedenen Bedingungen



Anmerkung. Die Abbildung zeigt die posturale Schwankungen in vier Altersgruppen und unter vier Testbedingungen. Test 1 = feste Unterlage/Augen offen; Test 2 = feste Unterlage/Augen geschlossen; Test 3 = Schaumstoffunterlage/Augen offen; Test 4 = Schaumstoffunterlage/Augen geschlossen (Colledge et al., 2009).

Es gibt mehrere mögliche Gründe für die mit dem Alter einhergehende Zunahme der posturalen Schwankung: Mit dem Alter werden die propriozeptiven Schwellenwerte höher und die periphere sensorische Funktion, die Sehschärfe und die Kontrastempfindlichkeit verschlechtern sich. Diese Faktoren können alle einen Einfluss auf das Gleichgewicht haben. Es ist aber mög-

lich, dass die schlechtere periphere Sensibilität nicht für die Zunahme der Schwankung verantwortlich ist, sondern dass es mit der Verlangsamung der zentralen integrativen Prozesse zusammenhängt (Colledge et al., 2009).

Das Gleichgewicht verändert sich kontinuierlich im Laufe des Lebens, wobei die grössten Schwankungen bei Kindern und bei älteren Erwachsenen zu beobachten sind. Bei Kindern wird die geringere Gleichgewichtsfähigkeit hauptsächlich durch Entwicklungsdefizite erklärt. Die abnehmende Gleichgewichtsfähigkeit älterer Erwachsener kann auf altersbedingte funktionelle Abbauprozesse, wie sensorische Verschlechterung und zentrale Verarbeitungsdefizite, zurückgeführt werden. Jungen Erwachsene, die ihre körperliche Entwicklung abgeschlossen haben, weisen in der Regel die beste Gleichgewichtsfähigkeit auf, die danach kontinuierlich abnimmt. Aus dieser Entwicklung lässt sich eine U-förmige Kurve ableiten, die den Verlauf der Gleichgewichtsfähigkeit über die Lebensspanne hinweg darstellt.

1.3.2 Entwicklung des Dual-Tasks

Es gibt Hinweise darauf, dass die posturale Kontrolle bei Kindern und älteren Erwachsenen erheblich beeinträchtigt wird, wenn diese gleichzeitig eine zusätzliche Aufgabe ausführen. In einem Review von Granacher et al. (2011) wurde festgestellt, dass unter Dual-Task-Bedingungen die posturale Schwankung sowohl bei Kindern als auch bei älteren Erwachsenen mit der Schwierigkeit der Zweitaufgabe zunimmt. Im Vergleich zu gesunden jungen Erwachsenen sind die sensorischen Beiträge von Kindern und älteren Erwachsenen aufgrund von Entwicklungsdefiziten oder biologischer Alterung eingeschränkt. Um die posturale Stabilität, insbesondere in Dual-Task-Situationen, aufrechtzuerhalten, müssen diese Altersgruppen aufgrund ihrer reduzierten visuellen, propriozeptiven und vestibulären Sensibilität mehr Aufmerksamkeit aufwenden. Das bedeutet, dass sie versuchen, ihre sensorischen Defizite durch den Abruf von mehr Aufmerksamkeitsressourcen zu kompensieren. Da allgemein angenommen wird, dass das Gehirn nur über eine begrenzte Kapazität für die Informationsverarbeitung verfügt, führt dies zu Dual-Task-Interferenzen und einer Leistungsabnahme bei einer oder beiden Aufgaben.

In einer Studie von Prado et al. (2007) wurden junge Erwachsene im Alter von 22 bis 39 Jahren mit älteren Erwachsenen im Alter von 65 bis 75 Jahren verglichen, die verschiedene visuelle Aufgaben durchführten, während sie auf einer Kraftmessplatte standen. Eine der visuellen Aufgaben bestand aus einer Suchaufgabe, bei der die Teilnehmer in einem Textblock still zählten, wie oft bestimmte Buchstaben auftauchten. Am Ende des Versuchs gaben sie sowohl die Gesamtzahl der gezählten Buchstaben als auch ihre endgültige Position im Text an. In einer anderen visuellen Aufgabe mussten die Teilnehmer ein leeres Ziel, in diesem Fall ein Stück weisses

Papier, betrachten und ihr Blick kontinuierlich innerhalb der Grenzen dieses Ziels halten. Bei der Ausführung der Zweitaufgabe erzielten beide Gruppen den gleichen Prozentsatz richtiger Antworten, wobei die älteren Teilnehmer signifikant langsamer waren als die jüngeren. Interessanterweise reduzierte sich das Schwanken in beiden Gruppen signifikant während der Suchaufgabe im Vergleich zum Betrachten eines leeren Ziels als Zweitaufgabe. Zudem verringerte sich das Schwanken, wenn das betrachtete Ziel näher war, und nahm zu, wenn das Ziel weiter entfernt war. Mit geschlossenen Augen schwankten die älteren Teilnehmer insgesamt stärker als die jüngeren Teilnehmer. Während beide Altersgruppen mit geschlossenen Augen signifikant mehr in mediolateraler Richtung schwankten, wurde dieser Effekt in anteroposteriorer Richtung nur bei den älteren Teilnehmern festgestellt.

Pavão et al. (2021) untersuchten den Vergleich zwischen Kindern und jungen Erwachsenen, die stehend auf einer Kraftmessplatte kognitive Aufgaben durchführen mussten. Mithilfe der Kraftmessplatte wurde die Fläche und Geschwindigkeit des Druckzentrums der Teilnehmer gemessen. Dabei gab es vier Gleichgewichtsbedingungen: Hüftbreiter Stand, hüftbreiter Stand auf Schaumstoff, schmaler Stand und schmaler Stand auf Schaumstoff. Die Dual-Task-Aufgabe erforderte bei Kindern mehr zentrale Anpassungen, die die Fläche vergrössern, auf welcher ihr Druckzentrum verschoben werden konnte. Bei leichten kognitiven Aufgaben zeigten die Kinder geringere DTC als Erwachsene. Um bei erhöhten Aufmerksamkeitsanforderungen (d.h. unter Dual-Task-Bedingung) ihre posturale Stabilität zu bewahren, wenden Kinder mehr Ressourcen für die motorische Aufgabe auf. Dadurch garantieren sie eine ausreichend grosse «Stabilitätsreserve», die für die Kontrolle ihrer Körperposition und die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts notwendig ist. Im Gegensatz dazu sind junge Erwachsene in der Lage, ihre Schwankungen unter Dual-Task-Bedingung zu erhöhen, ohne dass ihre Stabilität dabei gefährdet wird. Erwachsene haben im Allgemeinen ein besser entwickeltes Gleichgewicht als Kinder, wodurch sie nicht dazu gezwungen sind, die Zweitaufgabe dem Gleichgewicht unterzuordnen. In allen Altersgruppen wird die Verlagerung des Druckzentrums durch motorische und kognitive Dual-Task-Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit beeinflusst. Hohe kognitive Anforderungen können die Teilnehmer dazu veranlassen, der motorischen Aufgabe (das Gleichgewicht aufrechterhalten) Vorrang zu geben. Dies führt zu einer geringeren Verlagerungsgeschwindigkeit des Druckzentrums im Vergleich zu einfacheren kognitiven Aufgaben. Die Ressourcen werden so umverteilt, dass die Stabilität priorisiert wird, was die DTC reduziert.

Abschliessend lässt sich feststellen, dass ähnlich wie die Entwicklung des Gleichgewichts, auch eine U-förmige Beziehung zwischen der Entwicklung der Dual-Task-Fähigkeit und dem Alter erkennbar ist. Kinder und ältere Erwachsene müssen unter Dual-Task-Bedingungen deutlich

mehr Aufmerksamkeit und kognitive Ressourcen aufwenden, um das Gleichgewicht aufrechtzuerhalten. Bei Kindern ist dieser erhöhte Aufwand auf Entwicklungsdefizite zurückzuführen, während er bei älteren Erwachsenen auf altersbedingte funktionelle Abbauprozesse zurückgeht. Junge und mittlere Erwachsene hingegen verfügen über ein besser entwickeltes Gleichgewicht und sind unter Dual-Task-Bedingungen weniger anfällig auf Stabilitätsverluste, wodurch sie auch weniger zusätzliche Ressourcen einsetzen müssen.

1.4 Gleichgewichtstraining

1.4.1 Single-Task Gleichgewichtstraining

Gleichgewicht wird in der Forschung häufig als eine generelle Fähigkeit betrachtet und daher mittels allgemeiner Tests wie dem Einbeinstand oder Tandemstand bewertet. Dabei werden die Art und das Ziel des Trainings nicht berücksichtigt. Selbst in Meta-Analysen zum Thema Gleichgewicht werden Studien unabhängig von der Art des Trainings zusammengefasst (Giboin et al., 2015). Verschiedene Studien zeigen, dass Gleichgewichtstraining sehr aufgabenspezifisch sein kann und nur eine geringe bis gar keine Übertragung auf andere Gleichgewichtsaufgaben stattfindet. In einer Studie von Giboin et al. (2015) wurde eine Verbesserung der Gleichgewichtsleistung nur bei der trainierten, spezifischen Aufgabe festgestellt. Es wurde keine Übertragung auf andere Aufgaben beobachtet, selbst wenn das gleiche Gerät oder die gleiche Richtung der Störung verwendet wurde. Diese Aufgabenspezifität sollte bei der Gestaltung von Gleichgewichtstrainingsprogrammen berücksichtigt werden. Ist das Ziel die Sturzprävention, sollten Übungen gewählt werden, die Aufgaben mit hohem Sturzrisiko ähneln. Dasselbe gilt für Gleichgewichtstests, welche auf die zu bewertende Trainingsanpassung abgestimmt sein sollten.

In einem meta-analytischen Review von Donath et al. (2017) wurden ähnliche Ergebnisse festgestellt. Es zeigte sich, dass nach einem Slackline-Training vor allem signifikante Trainingseffekte bei Aufgaben, die in engem Zusammenhang mit den trainierten Inhalten stehen (z.B. Stehzeit auf der Slackline und das dynamische Stehgleichgewicht), beobachtet wurden. Die Übertragungseffekte auf andere Stehaufgaben (sowohl statisch als auch dynamisch) waren hingegen begrenzt. Auch wenn die Slackline eine erhebliche posturale Herausforderung darstellt, ist das dabei erforderliche Muster sehr spezifisch. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse sollten spezifische Geräte wie die Slackline nicht als einzige Form des Trainings verwendet werden. Stattdessen sollten sie in fordernde und multimodale Programme integriert werden, wobei die kognitiven und posturalen Herausforderungen schrittweise gesteigert werden müssen.

Das Problem der Interferenz bei Gleichgewichtsaufgaben ist ein weiterer wichtiger Punkt, der berücksichtigt werden muss. In ihrer Studie beobachteten Egger et al. (2021) Interferenzen, wenn zwei aufeinanderfolgende Gleichgewichtsaufgaben sich ähnelten. Da der Erwerb von Gleichgewichtsaufgaben aufgabenspezifisch zu sein scheint, ähnelt er dem Erlernen anderer einfacher motorischer Aufgaben. Daher kann angenommen werden, dass die zuerst erlernte Aufgabe durch das Erlernen einer anderen, aber ähnlichen Aufgabe beeinträchtigt werden kann. Interferenzen treten auf, wenn es sich um Aufgaben handelt, die dieselben Muskeln beanspruchen, ähnliche Anforderungen an die Schwerpunktkontrolle stellen und kurz nacheinander durchgeführt werden.

In der Studie von Muehlbauer et al. (2012) wurden gängige Gleichgewichtsübungen mithilfe einer computergestützten Gleichgewichtsplattform quantitativ ausgewertet. Dabei wurde die Verschiebung des Druckmittelpunkts bei jungen gesunden Erwachsenen anhand von zwölf verschiedenen Übungen unter jeweils fünf Bedingungen gemessen. Beim Entzug sensorischer Inputs (z.B. durch geschlossene Augen oder eine Schaumstoffunterlage) oder bei der Verkleinerung der Standfläche wurde ein grösseres posturales Schwanken und eine schlechtere Gleichgewichtsleistung beobachtet. Diese Ergebnisse zeigen, dass bereits kleine Veränderungen der sensorischen Inputs oder der Standfläche erhebliche Auswirkungen auf die Gleichgewichtsmessung haben. Daher könnten für ein anspruchsvolles Gleichgewichtstraining Übungen entwickelt werden, bei denen die Bedingungen progressiv und einfach angepasst werden. Es wird angenommen, dass sich das neuromuskuläre System beim Gleichgewichtstraining spezifisch und progressiv an die Intensität des Trainings anpasst. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Trainingsintensität durch längere Übungsdauer oder mehr Übungssätze zu steigern. Auf diese Weise kann das sensomotorische System während des Gleichgewichtstrainings angemessen gefordert werden, sodass tiefgreifende neuromuskuläre Anpassungen ausgelöst werden.

Insgesamt zeigt sich, dass Gleichgewichtstraining stark aufgabenspezifisch ist und eine begrenzte Übertragung auf andere Aufgaben erfolgt. Es ist zudem wichtig, darauf zu achten, dass zwei aufeinanderfolgende Gleichgewichtsaufgaben nicht zu ähnlich sind, da die erste Aufgabe durch die zweite, ähnliche Aufgabe beeinträchtigt werden könnte. Für ein effektives Training sollten Aufgaben ausgewählt werden, die einfach sind und schrittweise angepasst werden können. Darüber hinaus sollte die Trainingsintensität durch die Dauer oder die Anzahl der Sätze erhöht werden.

1.4.2 Dual-Task Gleichgewichtstraining

Ein Gleichgewichtstraining unter Dual-Task-Bedingungen beansprucht die motorische Kontrolle und Koordination stärker als unter Single-Task-Bedingungen. Es erfordert mehr motorische und kognitive Ressourcen, wodurch die Kontrolle der Aufmerksamkeit, die Ressourcenallokation und die Automatisierung von Aufgaben trainiert werden. Dual-Task-Trainings folgen ebenfalls dem Prinzip der Aufgabenspezifität, welches besagt, dass sich die Leistung hauptsächlich für die trainierte Aufgabe verbessert und nur begrenzter Transfer auf andere Aufgaben stattfindet. Dennoch scheint ein allgemeines Dual-Task-Training der vielversprechendste Ansatz zu sein, um sowohl unter Dual-Task- als auch unter Single-Task-Bedingungen motorische Verbesserungen zu erzielen (Wollesen & Voelcker-Rehage, 2014).

Ein systematisches Review von Wollesen & Voelcker-Rehage (2014) untersuchte die Effekte von Single-Task- und Dual-Task-Training bei älteren Erwachsenen sowie die Faktoren, die zum Trainingserfolg beitragen. Es zeigte sich, dass Single-Task-Training der Motorik die Stehleistung unter Dual-Task-Bedingungen nicht signifikant verbessert. Studien, die sich speziell auf Dual-Task-Trainings konzentrieren, sind selten und ihre Ergebnisse uneinheitlich, die Trainingsbelastung scheint jedoch eine wesentliche Rolle zu spielen. Entscheidend für die Leistungsverbesserung scheinen steigende Aufgabenschwierigkeiten und progressive Anforderungen an die motorische Leistung zu sein. Um Verbesserungen der körperlichen und kognitiven Funktionen zu erreichen, sollte die Aufgabenschwierigkeit während des Trainings systematisch erhöht werden. Bei gleichbleibenden motorischen Anforderungen oder kognitiver Belastung sind die Trainingseffekte geringer.

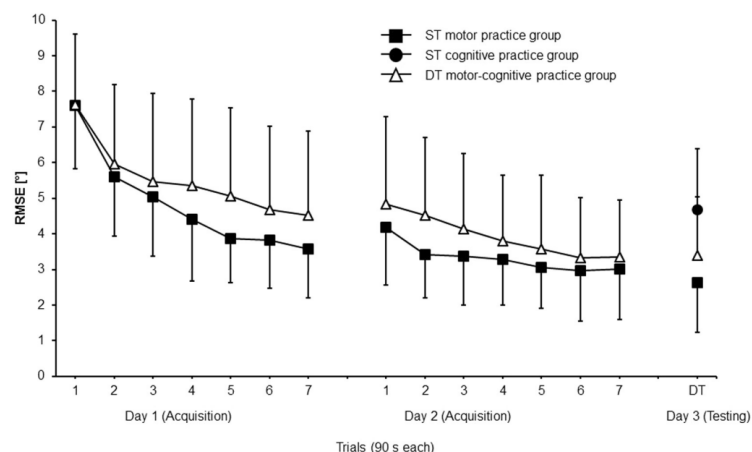
Kiss et al. (2018) untersuchten die Auswirkungen von Single-Task-Training (entweder nur kognitive oder nur motorische Aufgaben) und Dual-Task-Training (gleichzeitige motorische und kognitive Aufgaben) auf das Erlernen einer dynamischen Gleichgewichtsaufgabe bei jungen Erwachsenen (im Alter von 21 bis 30 Jahre). Die Teilnehmer wurden in drei Trainingsgruppen eingeteilt: kognitives, motorisches oder motorisch-kognitives Training. Eine Kontrollgruppe war nicht vorhanden. Bei der motorischen Aufgabe mussten die Teilnehmer ihr Gleichgewicht auf einer Stabilitätsplattform halten, indem sie die Plattform möglichst horizontal ausgerichtet hielten. Die kognitive Aufgabe bestand darin, fortlaufende Subtraktionen von drei laut aufzusagen, wobei die Startzahl zufällig zwischen 300 und 900 gewählt wurde. An zwei aufeinanderfolgenden Übungstagen absolvierten alle Teilnehmer sieben Versuche von jeweils 90 Sekunden Dauer unter den jeweiligen Bedingungen. Die Single-Task-Gruppen führten entweder die motorische oder die kognitive Aufgabe durch, während die Dual-Task-Gruppe beide Aufgaben gleichzeitig übte. Am dritten Tag wurden alle Teilnehmer unter Dual-Task-Bedingungen

getestet, um die Lerneffekte der unterschiedlichen Trainingsbedingungen zu bewerten. Eine Einschränkung dieser Studie besteht jedoch darin, dass am ersten Tag nicht das anfängliche Leistungsniveau der Single-Task- und Dual-Task-Aufgaben gemessen wurde, um es anschließend mit der Leistung am dritten Tag vergleichen zu können.

Die Studie ergab, dass jede Gruppe ihre Leistung in der zugewiesenen und trainierten Aufgabe signifikant verbessert hatte. Die Single-Task-Gruppen verbesserten sich unter Dual-Task-Bedingung nur in ihrem spezifisch trainierten Bereich, während das Dual-Task-Training sowohl die motorische als auch die kognitive Leistung verbesserte (siehe Abbildungen 4 und 5). Es wurde jedoch kein signifikanter Unterschied in der Gleichgewichtsleistung unter Dual-Task-Bedingungen zwischen der motorischen Single-Task- und der motorisch-kognitiven Dual-Task-Gruppe festgestellt. Dies könnte auf einen möglichen Deckeneffekt zurückzuführen sein. Möglicherweise führte das hohe Trainingsvolumen während der beiden Übungstage zu einem Überlern-Effekt, bei dem die motorische Aufgabe automatisiert wurde. Infolgedessen war die Interferenz für die motorische Single-Task-Gruppe gering, sodass mehr Ressourcen für die kognitive Aufgabe zur Verfügung standen. Es ist auch möglich, dass die kognitive Aufgabe zu einfach war, um Schwierigkeiten bei der Gleichgewichtsaufgabe unter Dual-Task-Bedingungen zu verursachen. Diese Ergebnisse deuten dennoch darauf hin, dass Dual-Task-Training zentrale Ressourcen freisetzt, die zur effizienten Anpassung der motorischen und kognitiven Verarbeitungsmechanismen verwendet werden können (Kiss et al., 2018).

Abbildung 4

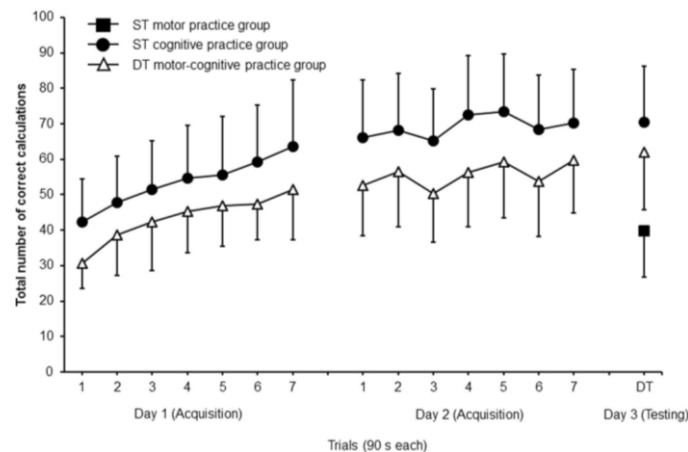
Entwicklung der Gleichgewichtsleistung nach ST- und DT-Training



Anmerkung. Die Abbildung zeigt den Root Mean Squared Error (RMSE), der die Abweichung der Plattform von der Horizontalen darstellt, für die motorische ST- und die DT-Gruppe an den Übungstagen sowie für alle drei Gruppe am Testtag unter DT-Bedingungen (Kiss et al., 2018).

Abbildung 5

Entwicklung der kognitiven Leistung nach ST- und DT-Training



Anmerkung. Die Abbildung zeigt die Anzahl korrekter Berechnungen für die kognitive ST- und die DT-Gruppe an den Übungstagen sowie für alle drei Gruppe am Testtag unter DT-Bedingungen (Kiss et al., 2018).

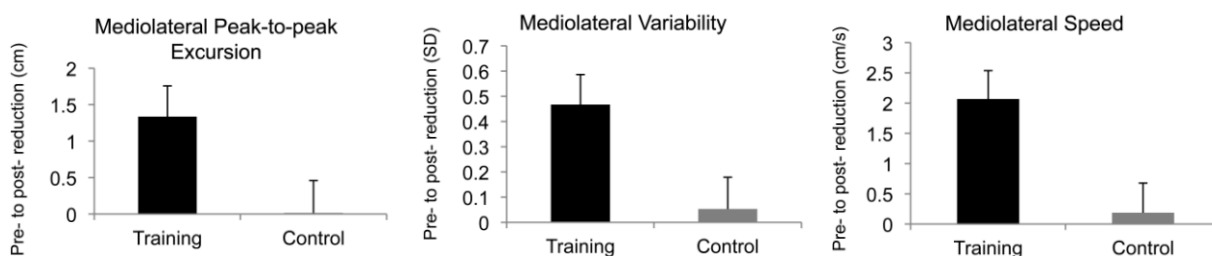
Polskaia & Lajoie (2016) untersuchten junge Erwachsene im Alter von 21 bis 26 Jahren, die auf einer Kraftplattform mit geschlossenen Füßen standen und gleichzeitig kognitive Aufgaben unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades (einfach, mittel, schwer) ausführten. Die kognitiven Aufgaben umfassten auditive sowie visuelle Aufgaben. Bei den auditiven Aufgaben mussten die Teilnehmer Buchstaben zählen und Wortfolgen wiederholen, während sie bei den visuellen Aufgaben Zahlen zählen mussten. Die Resultate zeigten, dass die medial-laterale Schwankungsvariabilität und die Variabilität des Druckmittelpunkts signifikant abnahmen, je schwieriger die kognitive Aufgabe wurde. Diese Abnahme lässt sich wahrscheinlich durch eine Verschiebung der Aufmerksamkeit von der motorischen Aufgabe weg erklären. Zwischen den mittleren und schweren kognitiven Aufgaben wurde jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt. Dies ist möglicherweise auf einen Deckeneffekt zurückzuführen oder dass sich die beiden Aufgaben nicht genügend unterschieden und somit ähnliche Effekte erzielten. Die visuellen Aufgaben reduzierten das posturale Schwanken, während die auditiven Aufgaben die Unregelmässigkeit des Druckmittelpunktes erhöhten. Die Autoren vermuten, dass diese Unterschiede auf die unterschiedlichen Verarbeitungswege visueller und auditiver Informationen zurückzuführen sind. Zudem könnte die visuelle Aufgabe als visueller Anker fungiert haben, wodurch die Schwankungsvariabilität abnahm, während die auditive Aufgabe keinen solchen Anker bot. Brustio et al. (2018) führte eine Studie mit älteren Erwachsenen im Alter von 71 bis 78 Jahren durch, welche in drei Gruppen unterteilt wurde: (1) Dual-Task-Gruppe, (2) Single-Task-Gruppe

und (3) Kontrollgruppe. Beide Interventionsgruppen absolvierten dasselbe Training, das auf statischen und dynamischen Gleichgewichts- sowie Gehübungen basierte, wobei die Dual-Task-Gruppe zusätzlich eine motorische Zweitaufgabe ausführte. Die motorischen Zweitaufgaben umfassten alltagsbezogene Fähigkeiten wie das An- und Abziehen eines Pullovers, das Knoten und Entknoten einer Schnur oder das Auf- und Zuschrauben einer Schraube. Die Ergebnisse zeigten nach dem Dual-Task-Training eine allgemeine Verbesserung der Mobilitätsleistung sowohl unter Single-Task- als auch unter Dual-Task-Bedingungen. Die Autoren vermuten, dass die Studienteilnehmer durch das Dual-Task-Training gelernt haben, ihre Aufmerksamkeit effizient zwischen den Aufgaben zu verteilen.

In einer Studie von Li et al. (2010), die sich mit älteren Erwachsenen im Alter von über 70 Jahren befasste, zeigte sich, dass ein kognitives Dual-Task-Training die motorische Leistung unter Dual-Task-Bedingungen deutlich verbessern kann (siehe Abbildung 6). Diese Ergebnisse legen nahe, dass das gezielte Training von Aufgabenkoordinationsprozessen vorteilhaft sein kann.

Abbildung 6

Reduktion der Verschiebung des Druckmittelpunkts



Anmerkung. Die Abbildungen zeigen das Ausmass der Reduktion der Druckmittelpunktverschiebung in drei Parametern für die Kontroll- und die Trainingsgruppe nach der Trainingsintervention (Li et al., 2010).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass ein allgemeines Dual-Task-Training, obwohl es ebenfalls dem Prinzip der Aufgabenspezifität folgt, sowohl die motorische Leistung als auch die allgemeine Mobilität verbessert. Im Gegensatz zum Single-Task-Training, das die Leistung nur in den spezifisch trainierten Bereichen steigert, führt das Dual-Task-Training zu einer Leistungsverbesserung unter sowohl Single-Task- als auch Dual-Task-Bedingungen. Das Dual-

Task-Training ermöglicht den Teilnehmern, ihre Aufmerksamkeit effizient zwischen den Aufgaben zu verteilen und die Aufgabenkoordination zu optimieren, was zu einer insgesamt verbesserten Leistung führt.

Diese Forschungsarbeiten verdeutlichen die potenziellen positiven Auswirkungen des Dual-Task-Trainings auf die Leistungsfähigkeit in Alltagssituationen, in denen die komplexe Koordination zwischen zwei Aufgaben eine zentrale Rolle spielt. Bisher konzentrierte sich die Forschung vor allem auf ältere Erwachsene oder Personen mit gesundheitlichen Einschränkungen. Nur wenige Studien untersuchten die Effekte bei gesunden jungen Erwachsenen. Künftige Untersuchungen sollten sich verstärkt auf diese Population konzentrieren, um unser Wissen und Verständnis des Gleichgewichts und der Aufmerksamkeitsressourcen unter normalen Bedingungen (d.h. ohne Krankheiten, Verletzungen oder altersbedingte Einschränkungen) zu vertiefen. Dieses erweiterte Verständnis könnte erheblichen Einfluss auf die Gesundheitsförderung sowie den Erhalt der Mobilität über die gesamte Lebensspanne hinweg haben.

Durch diesen Ansatz kann der Einfluss des Gleichgewichtstrainings unter Dual-Task-Bedingungen auf die Gleichgewichtsfähigkeit erforscht werden, was zur Entwicklung effizienterer Trainingsprogramme beitragen könnte. Die vorliegende Studie zielt darauf ab, durch die Untersuchung dieses Ansatzes neue Perspektiven auf das Gleichgewichtstraining sowie die Interaktion zwischen Gleichgewicht und Dual-Task zu eröffnen.

1.5 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob ein allgemeines Dual-Task-Gleichgewichtstraining zu einer besseren Gleichgewichtsleistung führt und ob sich eine zweite motorische oder kognitive Aufgabe ebenfalls dadurch verbessert. Hierfür wurden folgende konkrete Fragestellungen formuliert:

- a) Führt ein allgemeines Gleichgewichtstraining in Dual Task (DT) zu einer besseren Leistung bei einer spezifischen Gleichgewichtsaufgabe?
- b) Führt ein allgemeines Gleichgewichtstraining in DT zu einer besseren Gleichgewichtsleistung, wenn eine zweite motorische oder kognitive Aufgabe hinzugefügt wird?
- c) Führt ein allgemeines Gleichgewichtstraining in DT zu einer besseren Leistung bei der motorischen oder kognitiven Zweitaufgabe?

Aufgrund der in der Einleitung beschriebenen Erkenntnisse werden folgende Hypothesen aufgestellt:

H0: Allgemeines Gleichgewichtstraining in DT führt zu keiner Verbesserung einer spezifischen Gleichgewichtsaufgabe.

H1: Allgemeines Gleichgewichtstraining in DT führt zur Verbesserung einer spezifischen Gleichgewichtsaufgabe.

H0': Keine der drei Gleichgewichtsbedingungen werden durch Gleichgewichtstraining in DT verbessert.

H1': Alle drei Gleichgewichtsbedingungen werden durch Gleichgewichtstraining in DT verbessert.

H0'': Allgemeines Gleichgewichtstraining in DT führt zu keiner Verbesserung der motorischen oder kognitiven Zweitaufgabe.

H1'': Allgemeines Gleichgewichtstraining in DT führt zur Verbesserung der motorischen oder kognitiven Zweitaufgabe.

2 Methode

Die vorliegende Arbeit wurde durch Teilnehmende einer grösseren Studie der Universität Freiburg ermöglicht. An dieser Studie nahmen insgesamt 43 Probanden teil, welche in eine Kontroll- und zwei Interventionsgruppen aufgeteilt wurden. Diese Arbeit behandelt nur die Daten der Kontrollgruppe ($n = 15$) sowie einer der Interventionsgruppen ($n = 13$), welche Dual-Task Training absolvierte (siehe Kap. 2.2 Design der Studie). Die zweite Gruppe ($n = 15$) führte ausschliesslich Single-Task Gleichgewichtstrainings durch unter der Führung von Fabio Catano, einem Masterstudenten in Sport- und Bewegungswissenschaften an der Universität Freiburg. Die gesammelten Daten dieser zweiten Interventionsgruppe wurden aus dieser Arbeit ausgeschlossen und werden in einer eigenen Arbeit behandelt.

Es wurden ebenso neuro-physiologische Messungen während den Pre- und Posttests durchgeführt. Diese fanden jeweils nach den für diese Arbeit relevanten Leistungsmessungen statt, damit die Gleichgewichtsleistung der Probanden möglichst wenig beeinflusst wurde. Dadurch wurden Verfälschungen der Leistungsergebnisse minimiert.

Daher bezieht sich die folgende Methode nur auf die Messungen, welche mit der Kontrollgruppe und der Double Task-Interventionsgruppe durchgeführt wurden.

2.1 Stichprobe

Die Teilnehmenden wurden über die allgemeinen Ziele, den Ablauf der Studie sowie über die anonyme Datenverarbeitung informiert. Vor Beginn der Studie unterzeichneten alle Teilnehmenden eine schriftliche Einverständniserklärung.

An der Studie nahmen insgesamt 30 junge Erwachsene teil, wobei zwei Teilnehmende im Verlauf der Tests ausgeschlossen wurden. Eine von ihnen reagierte schlecht auf die transkranielle Magnetstimulation (TMS), welche für die neuro-physiologische Messungen notwendig waren. Die zweite Person musste ebenfalls aus gesundheitlichen Gründen die Studie abbrechen. Da die Leistungsdaten dieser Teilnehmenden nur teilweise vorlagen, wurden diese Daten in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Schliesslich konnten die Daten von 28 Personen (Frauen = 14; Männer = 14) im Alter von 24.39 ± 3.15 Jahren verwendet werden (siehe Tabelle 1). Diese 28 Personen wurden in eine Interventionsgruppe (Dual, $n = 13$) mit Dual-Task Gleichgewichtstrainings und eine Kontrollgruppe (Control, $n = 15$) ohne Trainings eingeteilt. Die Gruppen wurden nach Zufallsprinzip aufgeteilt, wobei das Geschlecht bei der Aufteilung berücksichtigt wurde.

Alle Teilnehmenden waren gesunde, junge Erwachsene und durften keine muskuloskelettalen, neurologischen oder orthopädischen Störungen (z. B. Schlaganfall, Epilepsie, kürzlich erlittene

Verletzungen usw.) haben, welche das Gleichgewicht oder die Mobilität beeinträchtigen könnten. Zusätzlich mussten sie folgende Ausschlusskriterien erfüllen: motorische Beeinträchtigungen, gravierende Hirn- und/oder Herzkrankheiten, Verletzungen, Schwangerschaft, Herzschrittmacher, Hörimplantate, Metall im Körper. Diese Ausschlusskriterien waren vor allem notwendig für die neuro-physiologischen Messungen, konnten aber auch die Leistungsmessungen beeinträchtigen.

Tabelle 1

Anthropometrische Daten der Teilnehmer zum Zeitpunkt des Pretests. Mittelwerte mit Standardabweichung.

	Dual (n = 13)	Control (n = 15)	Total (n = 28)
Geschlecht [w/m]	6/7	8/7	14/14
Alter [Jahre]	24.85 ± 2.94	24.0 ± 3.38	24.39 ± 3.15
Gewicht [kg]	67.46 ± 13.11	70.27 ± 11.71	68.96 ± 12.23
Grösse [cm]	175.9 ± 11.8	173.3 ± 8.2	1.74 ± 0.10
BMI [kg*m ⁻²]	21.6 ± 2.2	23.3 ± 2.4	22.5 ± 2.4

Anmerkung. Durchschnittswerte der anthropometrischen Daten der Interventionsgruppe (Dual), der Kontrollgruppe (Control) und aller Probanden (Total) zum Zeitpunkt des Pretests.

Die Teilnehmenden der Interventionsgruppe absolvierten insgesamt sechs Dual-Task Gleichgewichtstrainings über einen Zeitraum von drei Wochen. Die Kontrollgruppe wurde gebeten, keine gleichgewichtsspezifischen Trainings während des Testzeitraums durchzuführen oder mehr Gleichgewichtsübungen als üblich zu machen. Dadurch sollten Verfälschungen der Resultate möglichst minimiert werden.

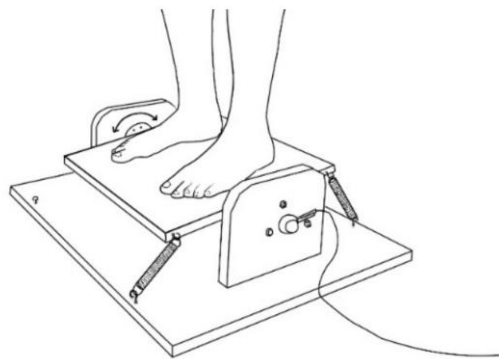
2.2 Design der Studie

Alle Teilnehmenden absolvierten den gleichen Pre- und Posttest. Die Teilnehmenden durchliefen drei Gleichgewichtsbedingungen in zwei Schwierigkeitsstufen auf einer flachen Plattform, welche sich vor und zurück bewegte (max. +/- 20 Grad). Dieses Balanciergerät wurde speziell von den Forschenden der Universität Freiburg angefertigt (siehe Abbildung 7). Um die Daten der Gleichgewichtsleistung messen zu können, wurde das Gerät mit einem Goniometer (MP20,

Megatron Elektronik, Putzbrunn, Germany) ausgestattet. Der Schwierigkeitsgrad konnte durch austauschbare Federn mit einer Spannung von 0,472 N/mm bis 2,077 N/mm an beiden Enden der Plattform verändert werden. Alle Teilnehmenden absolvierten die drei Gleichgewichtsbedingungen auf einfachem Niveau mit Federn von 2.077 N/mm. Für das schwierige Niveau wurden die Federn individuell nach Gleichgewichtsfähigkeit des Teilnehmenden bestimmt. Dafür wurden die Federn vor Beginn des Tests in regressiver Reihenfolge von grösster bis kleinster Unterstützung ausgetauscht. Die richtige Schwierigkeit wurde gefunden, wenn sich der Teilnehmende zwar noch auf dem Balanciergerät halten konnte, aber nur noch mit grosser Anstrengung. Dabei durften die Teilnehmenden mit der Plattform an den Anschlag gehen, sollten sich jedoch den grössten Teil der Zeit in Bewegung befinden. Die meisten Teilnehmenden führten das schwierige Niveau mit Feder zwischen 0,472 N/mm und 0,656 N/mm durch. Während der Durchführung der Tests wurden die Teilnehmenden gebeten, sich ausser in Gefahrensituationen nicht an den Aufstiegshilfen an der Seite zu halten oder von der Plattform zu treten. Sollte dies doch geschehen, musste der betroffene Versuch wiederholt werden.

Abbildung 7

Balanciergerät mit einstellbaren Schwierigkeitsstufen



Anmerkung. Darstellung des für die Tests verwendeten Balanciergerätes. Der Schwierigkeitsgrad kann anhand von verschiedenen Federn mit unterschiedlicher Stärke verändert werden.

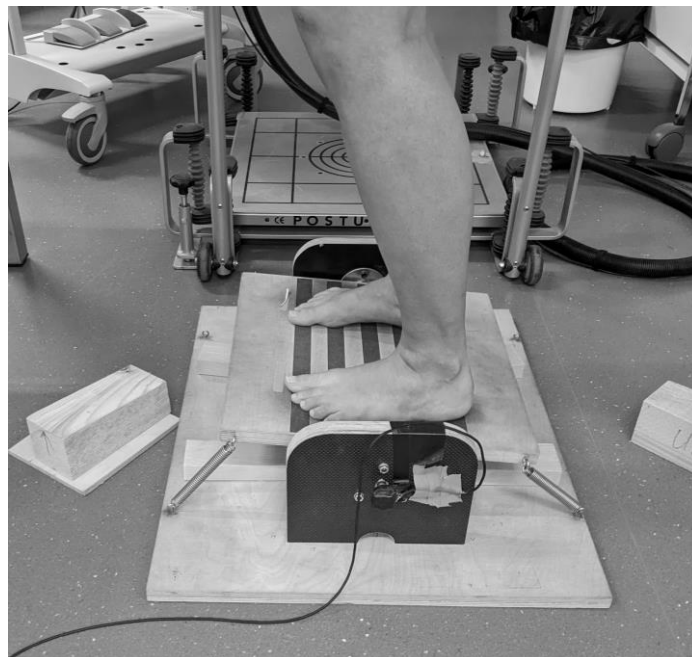
Während der Vorbereitung und dem Ermitteln der richtigen Schwierigkeitsstufe, wurde auch die ideale Fussposition der Teilnehmenden ausgemacht. Diese wurde von den Testleitenden mit Klebestreifen markiert (siehe Abbildung 8) und die Distanz zwischen dem oberen Ende der Plattform und den grossen Zehen der Teilnehmenden notiert. Dadurch konnten die Teilnehmenden während des ganzen Tests sowie während des Pre- und Posttests die gleiche Fussposition beibehalten.

Die Teilnehmenden absolvierten insgesamt 12 Versuche auf der Plattform. Die 12 Versuche setzen sich aus zwei Versuchen pro Gleichgewichtsbedingung und Schwierigkeitsgrad zusammen. Jeder Versuch dauerte insgesamt 30 Sekunden. Nach jedem Versuch konnte die Testperson von der Plattform heruntersteigen und eine Pause von ungefähr 30 Sekunden einlegen. Während dieser Pause wurde der Person die Ergebnisse des vorherigen Versuchs als Kurvendiagramm gezeigt und kurz besprochen. Für diese Arbeit wurde jeweils der Mittelwert der beiden Versuche verwendet.

Die Reihenfolge der Gleichgewichtsbedingungen war randomisiert und für jeden Teilnehmenden anders. Entweder wurde mit den Bedingungen auf einfachem Niveau in zufälliger Reihenfolge begonnen, gefolgt von den Bedingungen auf dem individuellen schwierigen Niveau in zufälliger Reihenfolge, oder es wurde mit dem schwierigen Niveau begonnen, gefolgt vom einfachen Niveau. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Startbedingungen gleichmässig auf die Teilnehmenden verteilt wurden.

Abbildung 8

Foto von Füßen einer Teilnehmerin auf der Gleichgewichtsplattform



Anmerkung. Darstellung einer Teilnehmerin auf der Gleichgewichtsplattform unter der Gleichgewichtsbedingung «Easy Balance». Klebebandstreifen wurden verwendet, um die Fussposition zu markieren, welche während des ganzen Pre- und Posttests gleichblieb.

2.2.1 Balance

Die Gleichgewichtsbedingung Balance bestand darin, dass die Teilnehmenden ihr Gleichgewicht möglichst beibehalten und horizontal auf der Plattform bleiben mussten. Gleichzeitig hielten sie mit beiden Händen ein Holztablett (siehe Abbildung 9), ohne es während der Aufgabe loszulassen. Die Teilnehmenden sollten möglichst aufrecht während der Messung bleiben, da diese Position ideal für die darauffolgenden TMS-Messungen war. Ansonsten bekamen sie keine besonderen Anweisungen, konnten jede beliebige Position einnehmen und waren frei darin, ihre Blickrichtung zu wählen und zu verändern. Die Bedingung wurde zwei Mal auf dem einfachen Niveau durchgeführt und zwei Mal auf dem individuellen schwierigen Niveau.

Abbildung 9

Foto einer Teilnehmerin auf der Gleichgewichtsplattform während einer Dual-Task Aufgabe



Anmerkung. Darstellung einer Teilnehmerin auf der Gleichgewichtsplattform unter der Gleichgewichtsbedingung «Easy Balance». Die Teilnehmerin trägt einen Helm, an welchem eine Spule für TMS-Messungen festgemacht ist, welche für diese Arbeit nicht verwendet wurden.

2.2.2 Balance + Motor

Die Gleichgewichtsbedingung Balance + Motor bestand darin, dass die Teilnehmenden ein Holztablett mit beiden Händen halten und eine Kugel möglichst in der markierten Mitte des Tablett balancieren und dabei das Gleichgewicht auf der Plattform bewahren sollten. Das Tablett hatte Ränder (siehe Abbildung 9), so dass die Kugel nicht hinunterfallen konnte. Auch diese Aufgabe wurde zwei Mal auf dem einfachen Niveau und zwei Mal auf dem schwierigen Niveau der Teilnehmenden durchgeführt.

2.2.3 Balance + Cognitive

Die Gleichgewichtsbedingung Balance + Cognitive bestand darin, dass die Teilnehmenden eine «2-back»-Übung durchführten, gleichzeitig das Gleichgewicht auf der Plattform beibehalten und das Holztablett in beiden Händen halten mussten. Der Bildschirm für die «2-back»-Übung befand sich auf einem Tisch direkt vor der Testperson, wobei im Vorfeld überprüft wurde, ob die Person ihn gut sehen konnte. Auf dem Bildschirm liefen während des Tests Zahlen von 1 bis 9 ab. Stimmte die aktuelle Zahl mit der vorvorherigen (2 zurückliegenden) Zahl überein, so muss die Person diese Zahl laut sagen (Beispiel: 7, 8, 4, 9, 4, 6, ...). Auch diese Aufgabe wurde zwei Mal auf dem einfachen und zwei Mal auf dem schwierigen Niveau durchgeführt.

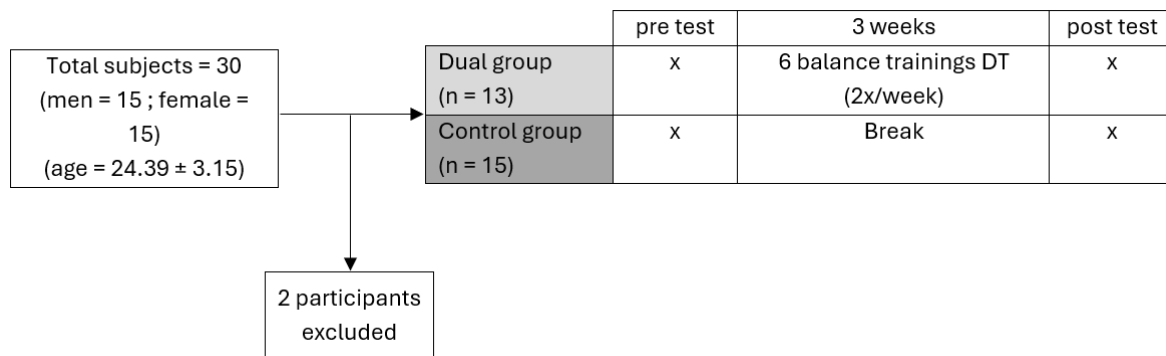
2.3 Gleichgewichtstrainings

Die Interventionsgruppe absolvierte nach dem Pretest über drei Wochen verteilt sechs Dual-Task Gleichgewichtstrainings, also zwei Einheiten pro Woche (siehe Abbildung 10). Eine Trainingseinheit dauerte 45 Minuten und wurde in Gruppen von maximal vier Personen abgehalten. Der Posttest wurde möglichst zeitnah nach dem letzten Training durchgeführt. Die Kontrollgruppe führte während diesen drei Wochen keine Gleichgewichtstrainings durch.

Die Single-Task Gruppe folgte dem gleichen Ablauf wie die Dual-Task Gruppe. In ihren Trainings absolvierten sie jedoch nur Gleichgewichtsübungen ohne eine sekundäre Aufgabe.

Abbildung 10

Studiendesign der Test- und Trainingsphasen





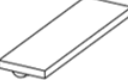




Anmerkung. Die Abbildung zeigt das Design der Studie für die Interventionsgruppe (Dual group) sowie für die Kontrollgruppe (Control group). Die Interventionsgruppe führte 6 Dual-Task Gleichgewichtstrainings durch, die Kontrollgruppe absolvierte zwischen dem Pre- und Posttest keine Gleichgewichtstrainings.

Für das Dual-Task Training wurden verschiedene Aufgaben verwendet, wobei darauf geachtet wurde, dass die Anzahl motorischer und kognitiver Aufgaben ausgeglichen war. Zu den kognitiven Aufgaben gehörten unter anderem der 2-back Test mit Zahlen sowie mit Buchstaben, Kopfrechnen, Buchstabieren und der Stroop Test. Im Stroop Test wurde den Teilnehmern Farbwörter präsentiert, bei denen die Bedeutung des Wortes (z.B. «Blau») nicht mit der Farbe der Schrift übereinstimmte. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, entweder die Farbe der Schrift zu benennen oder das geschriebene Wort zu lesen. Einige der motorischen Aufgaben umfassten Jonglieren, eine Kugel auf einem Tablett oder Löffel balancieren, Wasser in Bechern umfüllen und Dart werfen. Diese Aufgaben wurden auf verschiedenen Gleichgewichtsgeräten wie Balance Disk, Slackline, Rola Bola Balancierbrett, Pedalo-Geräten usw. ausgeführt.

Die Trainings wurden von einem Experten geleitet, welcher die Übungen erklärte und die Teilnehmenden bei der Ausführung unterstützte. Die Übungen wurden jeweils auf das Gleichgewichtsniveau der Personen angepasst, wobei die Testleitung auch zusätzliche Unterstützung integrieren konnte, falls nötig. Abbildung 11 zeigt die dritte Trainingseinheit, welche die Interventionsgruppe durchgeführt hat. Alle Protokolle der Dual-Task Gleichgewichtstrainings können im Anhang gefunden werden. Die Trainings wurden so konzipiert, dass mehrere Übungen einfach gleichzeitig von den verschiedenen Gruppenmitgliedern ausgeführt werden konnten. Jede Übung wurde mehrmals hintereinander gemacht, wobei immer eine Pause zwischen den Wiederholungen eingelegt wurde.

Abbildung 11

Ablauf eines Dual-Task Gleichgewichtstrainings

	Illustration	Balance Task	Dual Task	reps	t/rep	Break
Exercise 1		Balance Disk (different disks for different levels)	Cognitive: Balance a ping pong ball on a spoon (different sized spoons for different levels)	4	40s	30s
Exercise 2		Slackline	Motor: Easy: throw ball up and catch it Hard: Juggle	4	40s	30s
Exercise 3		Wobble board (forwards-backwards; different boards for different levels)	Cognitive: Stroop Test	4	40s	30s
Exercise 4		Single leg stand (if too easy: single leg stand on a cushion)	Motor: Balance a ball on a wood tray (like pre- and post-test)	4	40s	30s
Exercise 5		«Test» platform (different springs for different levels)	Motor: Throw darts	2	90s	45s
Exercise 6		Pedalo stabilizer (can be adjusted for the different levels)	Cognitive: 2-back test with numbers	2	90s	45s
Exercise 7		Pedalo Classic	Motor: Juggling (number of balls can be adapted depending on skill level)	2	90s	45s

Anmerkung. Die Abbildung zeigt das dritte Dual-Task Training, welches die Interventionsgruppe absolvierte. Jede Übung wurde so konzipiert, dass ihre Schwierigkeit auf das Niveau der Teilnehmenden angepasst werden konnte.

2.4 Datenerhebung

Zur Messung der Gleichgewichtsleistung wurden sämtliche Daten durch ein Goniometer (MP20, Megatron Elektronik, Putzbrunn, Deutschland) erfasst, welches an der Mittelachse der Plattform positioniert wurde. Das Goniometer wurde verwendet, um die Winkelgeschwindigkeit (Sway) sowie die Abweichung (in Grad) von der Nulllinie zu messen, welche der horizontalen Position der Plattform entspricht. Es ist möglich, eine stabile Position unter oder über der

Nulllinie zu haben. Dabei variiert die ideale Position von Person zu Person. Aus diesem Grund sind wir der Meinung, dass die Winkelgeschwindigkeit die Stabilität der Testperson besser darstellt als die Abweichung von der Nulllinie.

Die kognitive Aufgabe wurde direkt von einem der Testleitenden bewertet, der während des Tests neben dem Teilnehmenden stand. Die gesagten oder verpassten Zahlen wurden auf einem Blatt mit der gezeigten Zahlenreihe markiert. Dabei wurde notiert, wie viele Zahlen die Testperson zu viel oder zu wenig sagte, um die Fehleranzahl zu ermitteln. Für die Auswertung der motorischen Aufgabe wurde eine hochauflösende Kamera an der Decke über dem Teilnehmer angebracht. Die Kamera filmte die Bewegung der Kugel auf dem Holztablett. Diese Videos wurden anschliessend mit der Software «Tracker Video Analysis and Modeling Tool (Version 6.1.2)» (Brown et al., 2023) auf die Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel und ihre Positionsabweichung vom Tablettmittelpunkt analysiert.

Für die beiden sekundären Aufgaben wurde jeweils die Leistung zwischen den beiden Versuchen gemittelt, um einen Durchschnittswert zu erhalten. Dadurch wird ein potenzielles Training während der Aufgabe selbst berücksichtigt.

2.5 Datenanalyse

Für diese Studie wurden die Winkelgeschwindigkeitsdaten (Sway) analysiert, welche anhand des an der Plattform angebrachten Goniometers gemessen wurden. Nach der Messung wurden diese Daten korrigiert, indem die Zeitabschnitte, in welchen die Plattform die Endpunkte berührte ($\text{Sway} = 0$), entfernt wurden. Die Daten waren dadurch repräsentativer für das Gleichgewicht auf einer bewegenden Oberfläche. Die erhaltenen Werte wurden in die Software «jamovi (Version 2.2.5)» (The jamovi project, 2023) übertragen und es wurden repeated measures ANOVA-Tests durchgeführt.

Um sicherzustellen, dass die Signifikanzniveaus für die Veränderungen zwischen den Pre- und Posttests innerhalb jeder Gruppe unabhängig voneinander angepasst wurden, wurden die p-Werte aus den Post-hoc-Tests mit der Bonferroni-Methode verdoppelt. Dies ermöglichte die Analyse der Auswirkungen des Gleichgewichtstrainings zwischen Pre- und Posttests für jede einzelne unabhängige Gruppe. Die Dual-Task Costs wurden zuerst in einer Excel-Datei berechnet und anschliessend in Jamovie übertragen.

Wir haben die Veränderungen der Winkelgeschwindigkeit (Sway) zwischen dem Pre- und Posttest in allen Single-Task (ST) und Dual-Task (DT) Bedingungen analysiert. Um genaue Messungen sicherzustellen, haben wir die Winkelgeschwindigkeit bereinigt. Dafür subtrahierten wir die Zeit, in der die Teilnehmer die Enden der Gleichgewichtsplattform berührten

(Sway_Filtered), also wenn die Winkelgeschwindigkeit Null betrug. Wenn ein Teilnehmer beispielsweise eine der 30 Sekunden langen Gleichgewichtsbedingungen absolvierte und dabei die Enden der Plattform während 7 Sekunden berührte, wurde der durchschnittliche Sway aus der Gesamtzeit minus dieser Zeit ohne Bewegung an den Enden berechnet, also 23 Sekunden.

Um die Ergebnisse leichter lesbar zu machen, werden die Sway_Filtered-Werte als Sway bezeichnet, da nur korrigierte Sway-Werte bei der Berechnung der Ergebnisse berücksichtigt wurden. Zusätzlich haben wir die sogenannten Dual-Task Costs (DTC), also die Kosten für die Durchführung der zweiten Aufgabe, in allen Dual-Task-Gleichgewichtsbedingungen berechnet. Um die DTC zu berechnen, wurde die prozentuale Veränderung der Winkelgeschwindigkeit in einer Dual-Task-Bedingung im Vergleich zur Single-Task-Bedingung ermittelt, welche auf dem gleichen Schwierigkeitsniveau während des gleichen Tests erzielt wurde:

$$\frac{(Sway_{DT} - Sway_{ST})}{Sway_{ST}}$$

Wenn mindestens ein Ergebnis eines ANOVA-Tests signifikant war, wurde anhand Post-Hoc-Tests ermittelt, welche Gruppe eine signifikante Veränderung über die Zeit, in der Gruppe oder in der Interaktion Zeit*Gruppe aufwies. Als Indikator der Effektstärke der ANOVA diente partielles Eta Quadrat (η^2_p). Dabei wurden folgende Referenzwerte verwendet: Kleiner Effekt $\eta^2_p > 0.02$, mittlerer Effekt $\eta^2_p > 0.13$ und grosser Effekt $\eta^2_p > 0.26$.

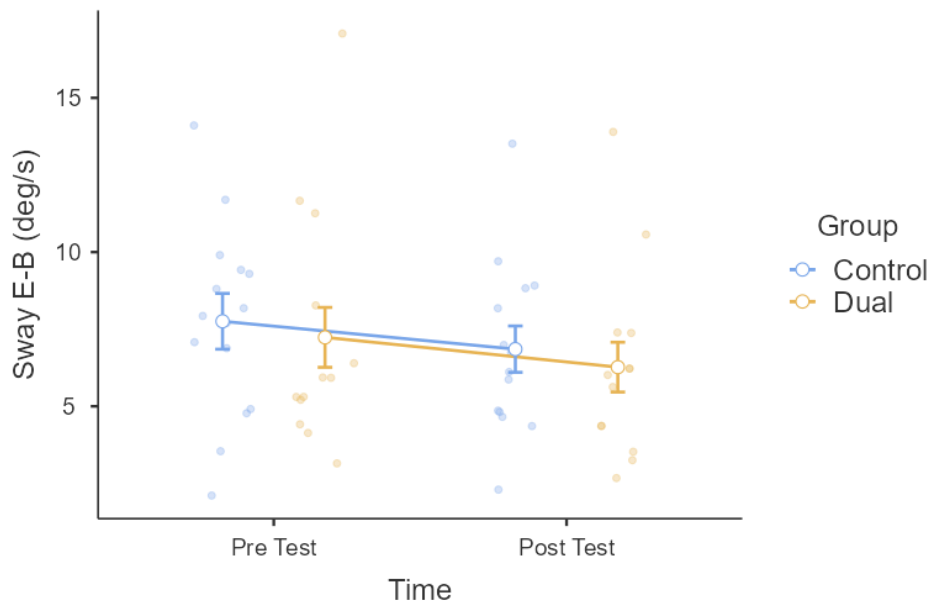
3 Resultate

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse unserer Studie vorgestellt, welche die Auswirkungen eines Dual-Task Gleichgewichtstrainings auf die Gleichgewichtsleistung bei einer sekundären Aufgabe untersucht.

3.1 Single-Task – Gleichgewicht

Abbildung 12

Einfluss des Trainings auf die Winkelgeschwindigkeit unter der Bedingung: Easy balance

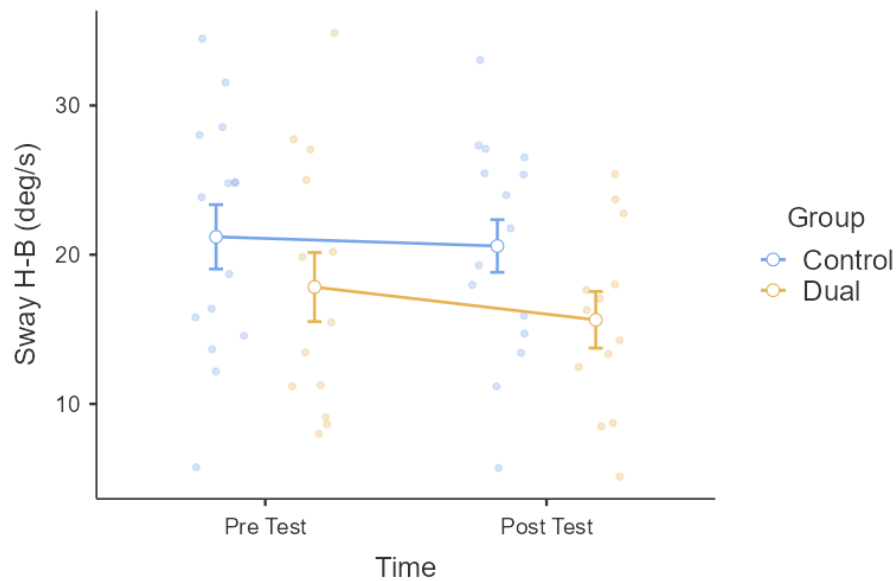


Anmerkung. Entwicklung des Sways in deg/s unter der Gleichgewichtsbedingung «Easy balance» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar. E-B = Easy Balance.

Die Ergebnisse der repeated measure ANOVA-Tests der Veränderung der Winkelgeschwindigkeit (Sway) zwischen Pre- und Posttest in der Bedingung «Easy balance» (Abbildung 12) waren für den Faktor Zeit nicht signifikant ($F_{1, 26} = 3.42, p = 0.076, \eta^2_p = 0.12$). Die Resultate waren ebenso nicht signifikant für den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 0.25, p = 0.623, \eta^2_p = 0.01$) und für die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 0.00, p = 0.951, \eta^2_p = 0.00$).

Abbildung 13

Einfluss des Trainings auf die Winkelgeschwindigkeit unter der Bedingung: Hard balance



Anmerkung. Entwicklung des Sways in deg/s unter der Gleichgewichtsbedingung «Hard balance» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar. H-B = Hard Balance.

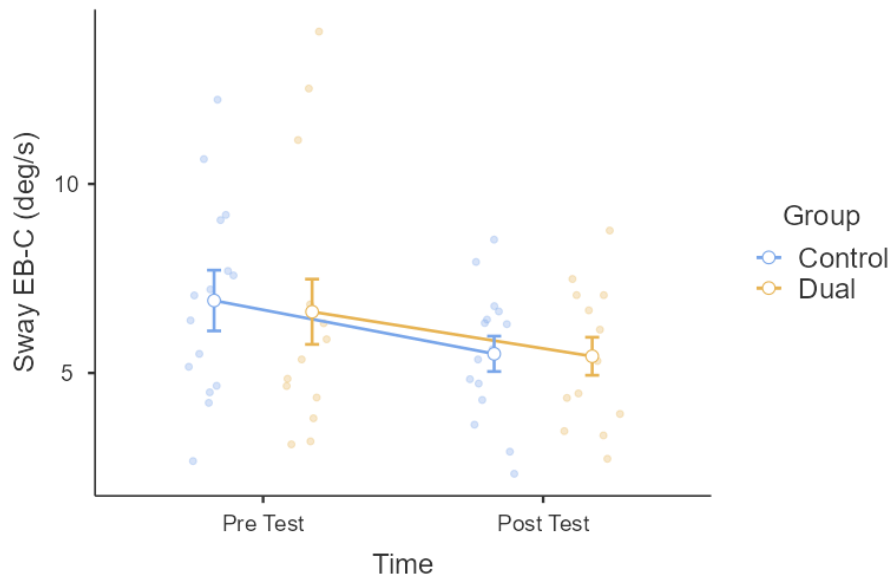
Bei der Analyse der Veränderung der Winkelgeschwindigkeit (Sway) zwischen Pre- und Posttest in der Bedingung «Hard balance» (Abbildung 13) waren die Ergebnisse der repeated measures ANOVA für den Faktor Zeit nicht signifikant ($F_{1, 26} = 3.07, p = 0.091, \eta^2_p = 0.11$). Die Resultate waren ebenso nicht signifikant für den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 2.24, p = 0.147, \eta^2_p = 0.08$) und für die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 8.76, p = 0.032, \eta^2_p = 0.04$).

3.2 Dual-Task kognitiv

3.2.1 Gleichgewicht

Abbildung 14

Einfluss des Trainings auf die Winkelgeschwindigkeit unter der Bedingung: Easy balance + Cognitive

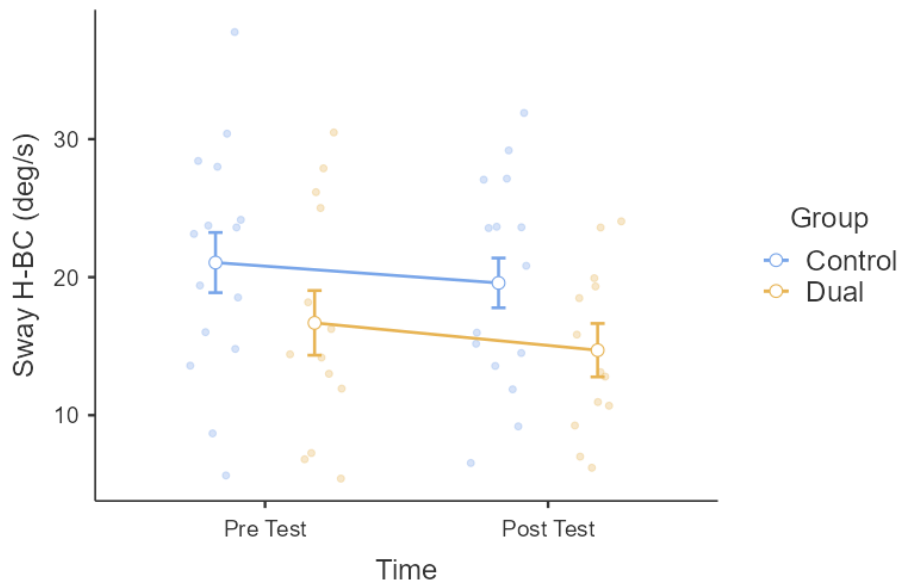


Anmerkung. Entwicklung des Sways in deg/s unter der Gleichgewichtsbedingung «Easy balance + Cognitive» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

Die Ergebnisse der repeated measure ANOVA-Tests zeigten eine signifikante Veränderung der Winkelgeschwindigkeit (Sway) zwischen Pre- und Posttest in der Bedingung «Easy balance + Cognitive» (Abbildung 14) für den Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 13.88, p < .001, \eta^2_p = 0.35$). Bei den Daten der Kontrollgruppe konnte ein signifikanter Unterschied ($p < .001$) im Sway zwischen Pretest (6.92 ± 2.60) und Posttest (5.51 ± 1.75) festgestellt werden. Die Daten der Interventionsgruppe waren nicht normalverteilt und es zeigte sich kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon $p = 0.216$) zwischen Pretest (6.62 ± 3.61) und Posttest (5.44 ± 1.88). Im Vergleich der prozentualen Entwicklung zwischen den beiden Gruppen konnte kein signifikanter Unterschied (Mann-Whitney U $p = 0.201$) festgestellt werden. Die Ergebnisse waren nicht signifikant für den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 0.45, p = 0.843, \eta^2_p = 0.00$) und für die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 0.11, p = 0.740, \eta^2_p = 0.00$).

Abbildung 15

Einfluss des Trainings auf die Winkelgeschwindigkeit unter der Bedingung: Hard balance + Cognitive



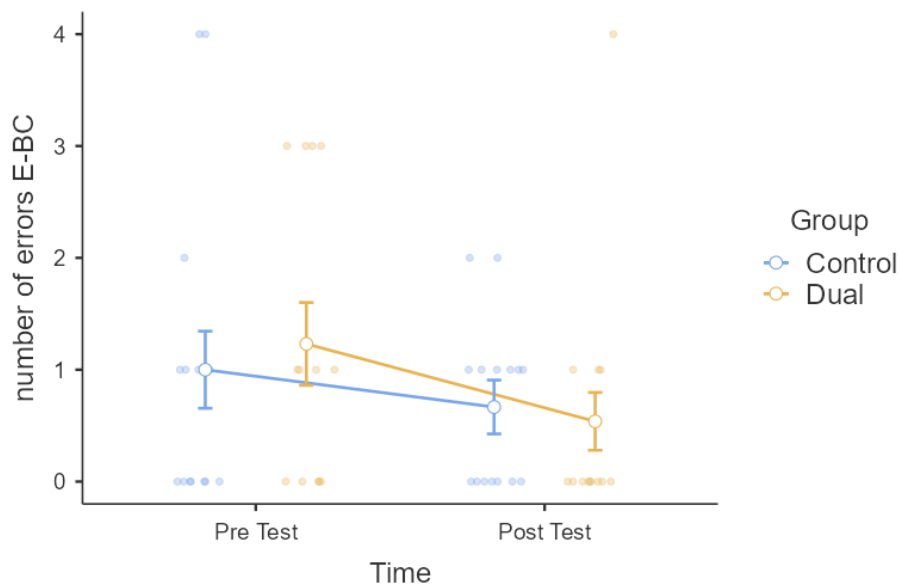
Anmerkung. Entwicklung des Sways in deg/s unter der Gleichgewichtsbedingung «Hard balance + Cognitive» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

Bei der Analyse der Veränderung der Winkelgeschwindigkeit (Sway) zwischen Pre- und Posttest in der Bedingung «Hard balance + Cognitive» (Abbildung 15) waren die Ergebnisse der repeated measure ANOVA für den Faktor Zeit signifikant ($F_{1, 26} = 8.10, p = 0.009, \eta^2_p = 0.24$). Bei der Kontrollgruppe konnte ein signifikanter Unterschied ($p = 0.015$) im Sway zwischen Pretest (21.06 ± 8.52) und Posttest (19.58 ± 7.74) festgestellt werden. Der Unterschied im Sway zwischen Pretest (16.69 ± 8.36) und Posttest (14.71 ± 5.98) der Interventionsgruppe war nicht signifikant ($p = 0.112$). Der Vergleich der prozentualen Entwicklung zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe zeigte keinen signifikanten Unterschied auf (Mann-Whitney U $p = 0.586$). Die Ergebnisse waren nicht signifikant für den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 2.59, p = 0.120, \eta^2_p = 0.09$) und für die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 0.17, p = 0.680, \eta^2_p = 0.01$).

3.2.2 Kognitive Aufgabe

Abbildung 16

Entwicklung der Anzahl Fehler beim kognitiven Test unter der Bedingung: Easy balance + Cognitive

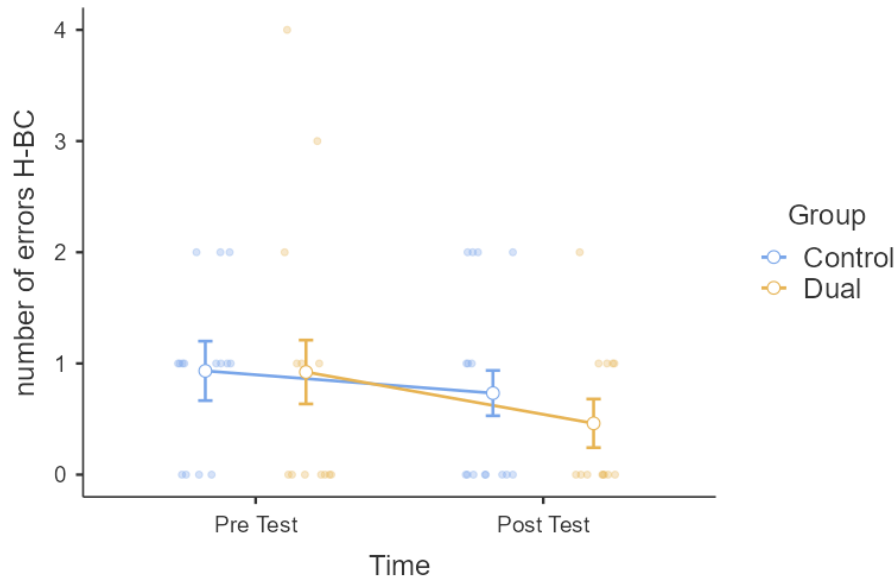


Anmerkung. Entwicklung der Fehleranzahl beim kognitiven Test unter der Gleichgewichtsbedingung «Easy balance + Cognitive» nach 3 Wochen Training zwischen Pretest und Posttest. Die vertikale Achse stellt die durchschnittliche Fehlerzahl dar, die beim «2-Back-Test» in der oben genannten Bedingung gemacht wurde.

Die Analyse der Fehlerzahl beim kognitiven Dual-Task in der «Easy»-Bedingung zeigt zwischen Pre- und Posttest (Abbildung 16) keine signifikante Veränderung im Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 2.64$, $p = 0.116$, $\eta^2_p = 0.09$), im Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 0.03$, $p = 0.866$, $\eta^2_p = 0.00$) oder in der Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 0.32$, $p = 0.574$, $\eta^2_p = 0.01$). Die beiden negativen Kurven lassen auf einen nicht signifikanten Verbesserungstrend für beide Gruppen schließen. Die Kontrollgruppe verbesserte sich zwischen dem Pre- und Posttest um -33.33 %, während die Interventionsgruppe eine Verbesserung um -56.25 % (Tabelle 2) aufwies.

Abbildung 17

Entwicklung der Anzahl Fehler beim kognitiven Test unter der Bedingung: Hard balance + Cognitive



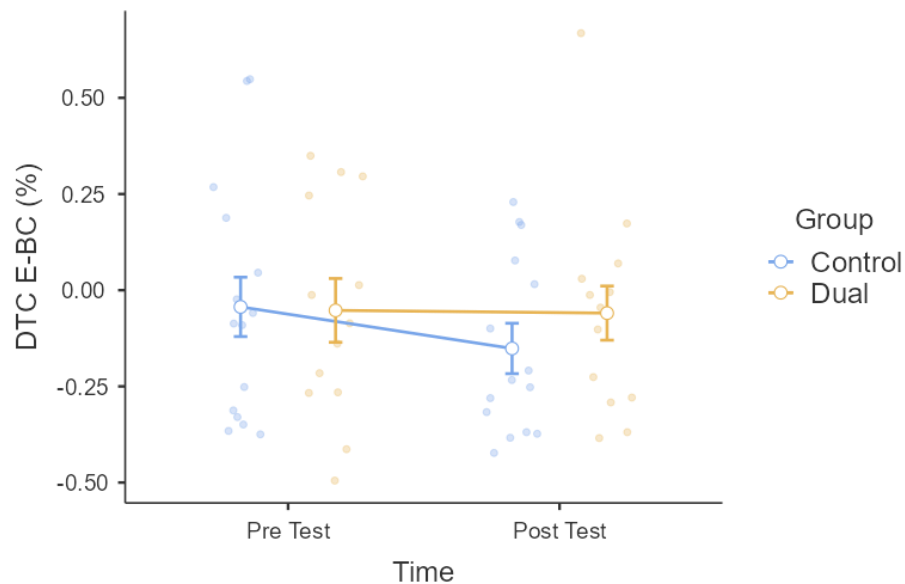
Anmerkung. Entwicklung der Fehleranzahl beim kognitiven Test unter der Gleichgewichtsbedingung «Hard balance + Cognitive» nach 3 Wochen Training zwischen Pretest und Posttest. Die vertikale Achse stellt die durchschnittliche Fehlerzahl dar, die beim «2-Back-Test» in der oben genannten Bedingung gemacht wurde.

Die Analyse der Fehlerzahl beim kognitiven Dual-Task in der «Hard»-Bedingung zeigt zwischen Pre- und Posttest (Abbildung 17) keine statistische Signifikanz gemäss dem repeated measure ANOVA-Test im Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 3.35, p = 0.79, \eta^2_p = 0.11$). Im Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 0.22, p = 0.640, \eta^2_p = 0.01$) oder in der Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 0.52, p = 0.476, \eta^2_p = 0.02$) konnten ebenfalls keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden. Die Kontrollgruppe verbesserte sich zwischen dem Pre- und Posttest um -21.43 %, während die Interventionsgruppe eine Verbesserung um -50.00 % (Tabelle 2) aufwies.

3.2.3 Dual-Task Costs

Abbildung 18

Entwicklung des Dual-Task Costs (DTC) unter der Bedingung: Easy balance + Cognitive

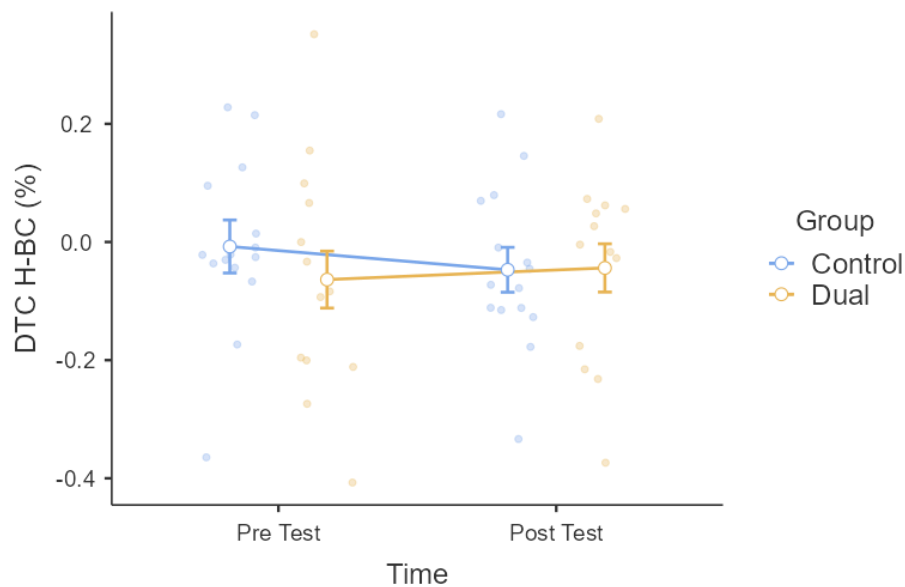


Anmerkung. Prozentuale Entwicklung der Dual-Task Costs (DTC) unter der Gleichgewichtsbedingung «Easy balance + Cognitive» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

Die Analyse der Dual-Task-Cost (DTC) der Bedingung «Easy balance + Cognitive» zwischen dem Pre- und dem Posttest (Abbildung 18) ergab keine statistisch signifikanten Ergebnisse gemäss dem repeated measure ANOVA-Test. Es konnten keine signifikanten Veränderungen der prozentualen Progression zwischen den beiden Tests in Bezug auf den Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 0.99$, $p = 0.328$, $\eta^2_p = 0.04$), den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 0.22$, $p = 0.641$, $\eta^2_p = 0.01$) oder die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 0.76$, $p = 0.390$, $\eta^2_p = 0.03$) festgestellt werden.

Abbildung 19

Entwicklung des Dual-Task Costs (DTC) unter der Bedingung: Hard balance + Cognitive



Anmerkung. Prozentuale Entwicklung der Dual-Task Costs (DTC) unter der Gleichgewichtsbedingung «Hard balance + Cognitive» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

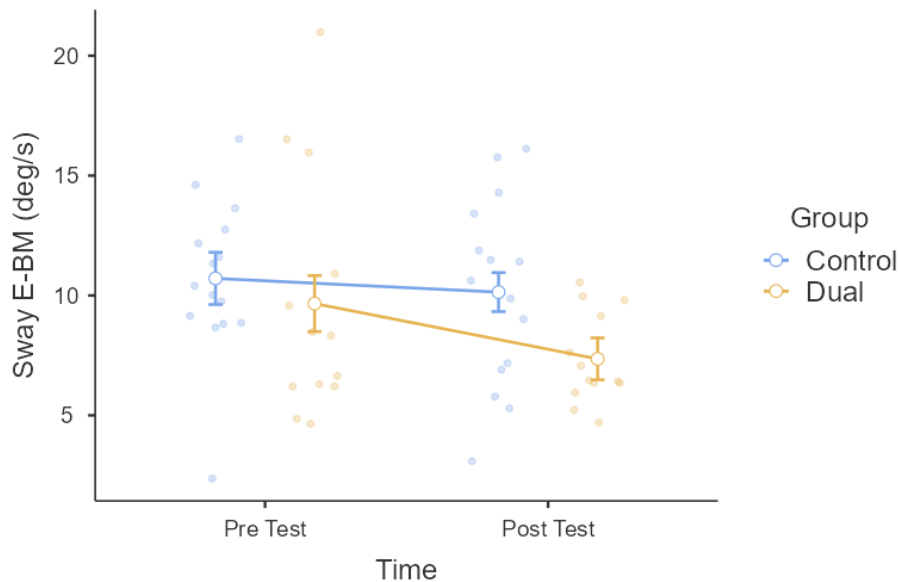
Die Ergebnisse der Dual-Task-Cost-Analyse der Bedingung «Hard balance + Cognitive» zwischen Pre- und Posttest (Abbildung 19) zeigen gemäss dem repeated measure ANOVA-Test weder für den Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 0.05, p = 0.823, \eta^2_p = 0.00$), den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 0.38, p = 0.543, \eta^2_p = 0.01$) noch für die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 0.46, p = 0.502, \eta^2_p = 0.02$) signifikante Werte.

3.3 Dual-Task motorisch

3.3.1 Gleichgewicht

Abbildung 20

Einfluss des Trainings auf die Winkelgeschwindigkeit unter der Bedingung: Easy balance + Motor

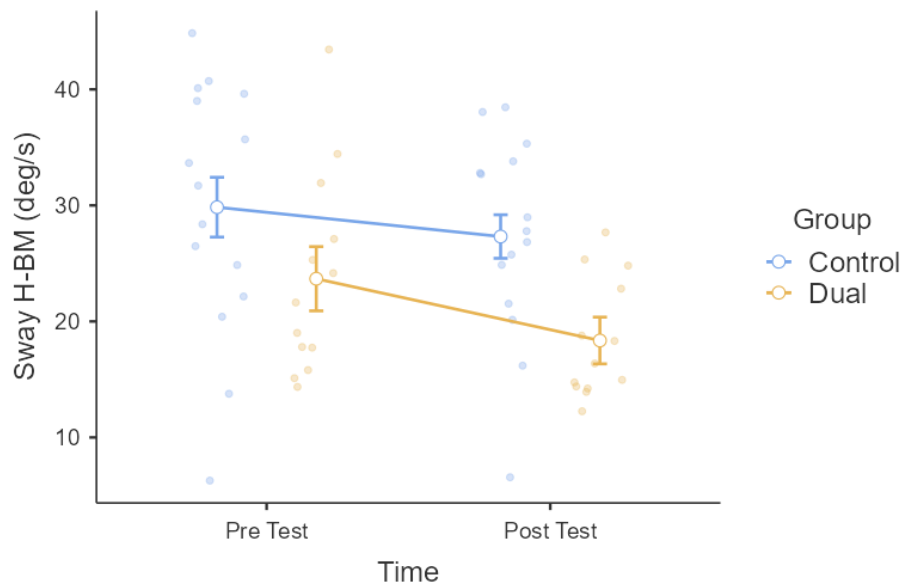


Anmerkung. Entwicklung des Sways in deg/s unter der Gleichgewichtsbedingung «Easy balance + Motor» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

Die Ergebnisse der repeated measure ANOVA-Tests zeigten eine signifikante Veränderung der Winkelgeschwindigkeit (Sway) zwischen Pre- und Posttest in der Bedingung «Easy balance + Motor» (Abbildung 20) für den Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 5.26$, $p = 0.030$, $\eta^2_p = 0.17$). Bei der Kontrollgruppe konnte kein signifikanter Unterschied ($p = 0.427$) im Sway zwischen Pretest (10.71 ± 3.27) und Posttest (10.14 ± 3.92) festgestellt werden. Die Daten der Interventionsgruppe waren nicht normalverteilt und es zeigte sich kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon $p = 0.094$) zwischen Pretest (9.66 ± 5.10) und Posttest (7.35 ± 1.91). Der Vergleich der prozentualen Entwicklung zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe zeigte keinen signifikanten Unterschied auf (Mann-Whitney U $p = 0.363$). Die Resultate waren nicht signifikant für den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 2.30$, $p = 0.141$, $\eta^2_p = 0.08$) und für die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 1.91$, $p = 0.179$, $\eta^2_p = 0.07$).

Abbildung 21

Einfluss des Trainings auf die Winkelgeschwindigkeit unter der Bedingung: Hard balance + Motor



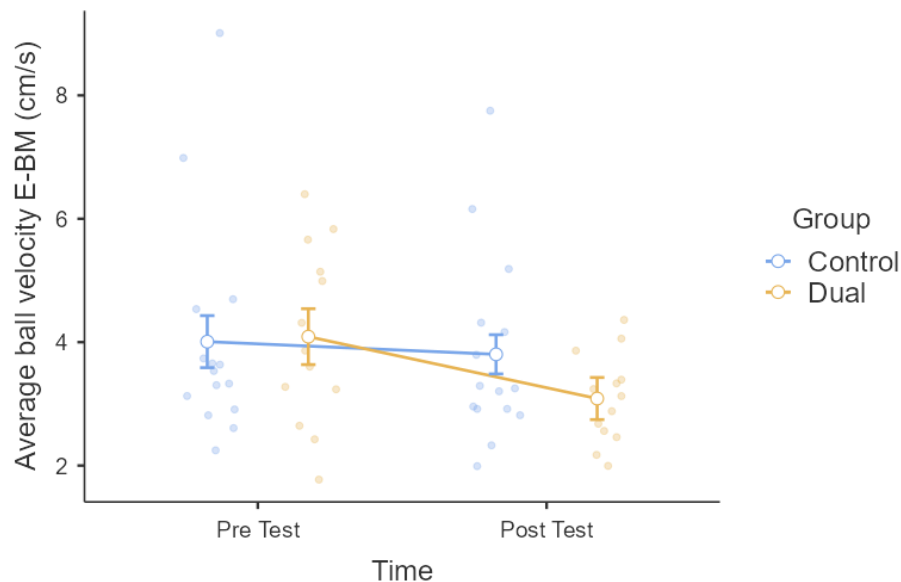
Anmerkung. Entwicklung des Sways in deg/s unter der Gleichgewichtsbedingung «Hard balance + Motor» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

Die Ergebnisse der repeated measure ANOVA-Tests zeigten eine signifikante Veränderung der Winkelgeschwindigkeit (Sway) zwischen Pre- und Posttest in der Bedingung «Hard balance + Motor» (Abbildung 21) für den Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 10.41, p = 0.003, \eta^2_p = 0.29$) sowie für den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 6.05, p = 0.021, \eta^2_p = 0.19$). Bei der Interventionsgruppe konnte ein signifikanter Unterschied ($p = 0.032$) im Sway zwischen Pretest (23.68 ± 8.69) und Posttest (18.36 ± 5.13) festgestellt werden. Der Unterschied im Sway zwischen Pretest (29.84 ± 10.96) und Posttest (27.32 ± 8.68) der Kontrollgruppe war nicht signifikant ($p = 0.061$). Der Vergleich der prozentualen Entwicklung zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe zeigte keinen signifikanten Unterschied auf (Mann-Whitney U $p = 0.201$). Die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 1.32, p = 0.261, \eta^2_p = 0.05$) zeigte keine signifikante Veränderung auf.

3.3.2 Motorische Aufgabe

Abbildung 22

Entwicklung der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel unter der Bedingung: Easy balance + Motor

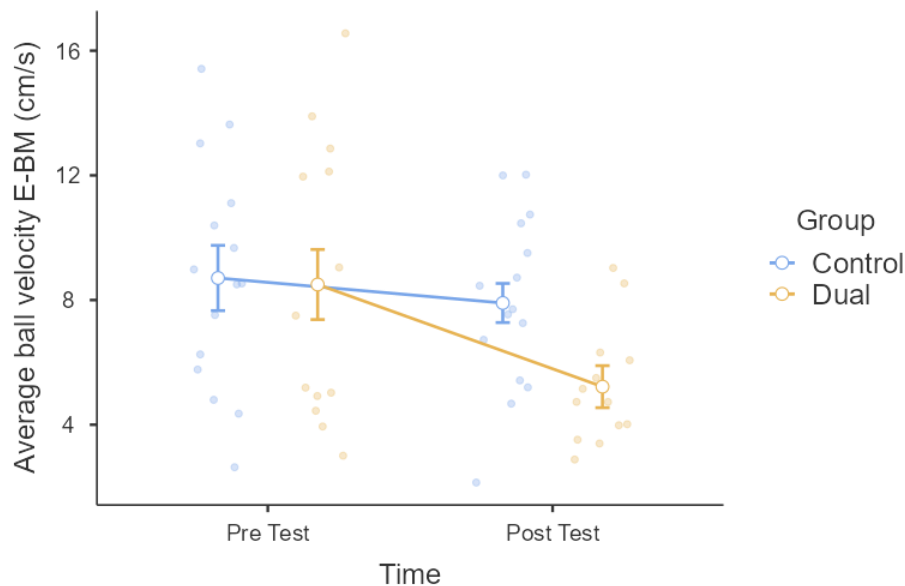


Anmerkung. Entwicklung der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel in Zentimetern pro Sekunde unter der Gleichgewichtsbedingung «Easy balance + Motor» nach 3 Wochen Training zwischen Pretest und Posttest. Die vertikale Achse stellt die durchschnittliche Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel auf dem Tablett unter der oben genannten Bedingung dar.

Die Ergebnisse der repeated measure ANOVA-Tests zeigten eine signifikante Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel zwischen Pre- und Posttest in der Bedingung «Easy balance + Motor» (Abbildung 22) für den Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 7.94, p = 0.009, \eta^2_p = 0.23$). Bei der Interventionsgruppe konnte ein signifikanter Unterschied ($p = 0.011$) in der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel zwischen Pretest (4.09 ± 1.44) und Posttest (3.09 ± 0.72) festgestellt werden. Die Daten der Kontrollgruppe waren nicht normalverteilt und es zeigte sich kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon $p = 0.639$) zwischen Pretest (4.01 ± 1.79) und Posttest (3.80 ± 1.54). Der Vergleich der prozentualen Entwicklung zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe zeigte keinen signifikanten Unterschied auf (Mann-Whitney U $p = 0.088$). Die Resultate waren nicht signifikant für den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 0.40, p = 0.534, \eta^2_p = 0.02$) und für die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 2.22, p = 0.074, \eta^2_p = 0.12$).

Abbildung 23

Entwicklung der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel unter der Bedingung: Hard balance + Motor



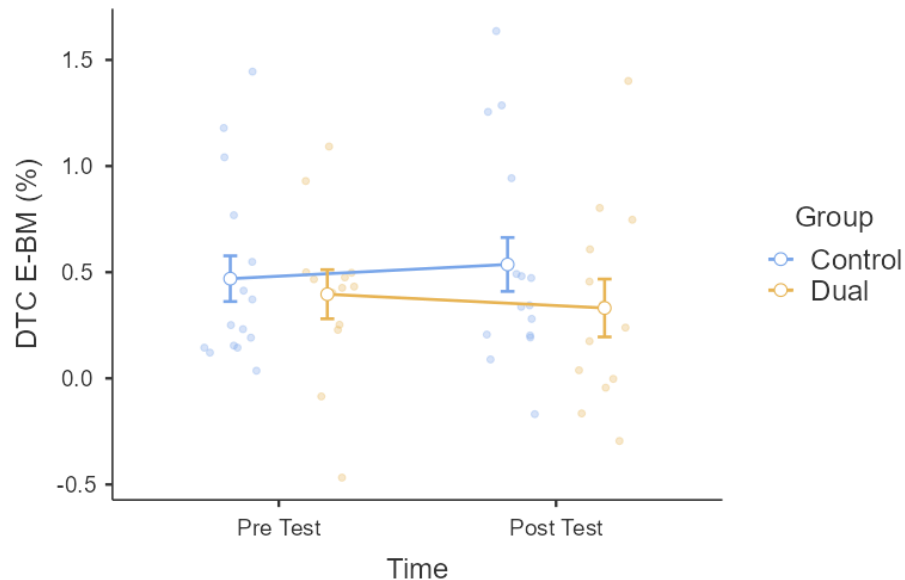
Anmerkung. Entwicklung der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel in Zentimetern pro Sekunde unter der Gleichgewichtsbedingung «Hard balance + Motor» nach 3 Wochen Training zwischen Pretest und Posttest. Die vertikale Achse stellt die durchschnittliche Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel auf dem Tablett unter der oben genannten Bedingung dar.

Die Resultate der repeated measure ANOVA-Tests zeigten eine signifikante Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel zwischen Pre- und Posttest in der Bedingung «Hard balance + Motor» (Abbildung 23) für den Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 13.89, p < .001, \eta^2_p = 0.35$) sowie für die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 5.12, p = 0.032, \eta^2_p = 0.16$). Der Unterschied in der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel zwischen Pretest (8.71 ± 3.63) und Posttest (7.91 ± 2.81) der Kontrollgruppe war nicht signifikant ($p = 0.0228$). Bei der Interventionsgruppe konnte ein signifikanter Unterschied ($p = 0.004$) in der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel zwischen Pretest (8.50 ± 4.50) und Posttest (5.22 ± 1.88) festgestellt werden. Der Vergleich der prozentualen Entwicklung zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe zeigte ebenfalls einen signifikanten Unterschied auf (Mann-Whitney U $p = 0.005$). Die Resultate waren nicht signifikant für den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 1.61, p = 0.216, \eta^2_p = 0.06$).

3.3.3 Dual-Task Costs

Abbildung 24

Entwicklung des Dual-Task Costs (DTC) unter der Bedingung: Easy balance + Motor

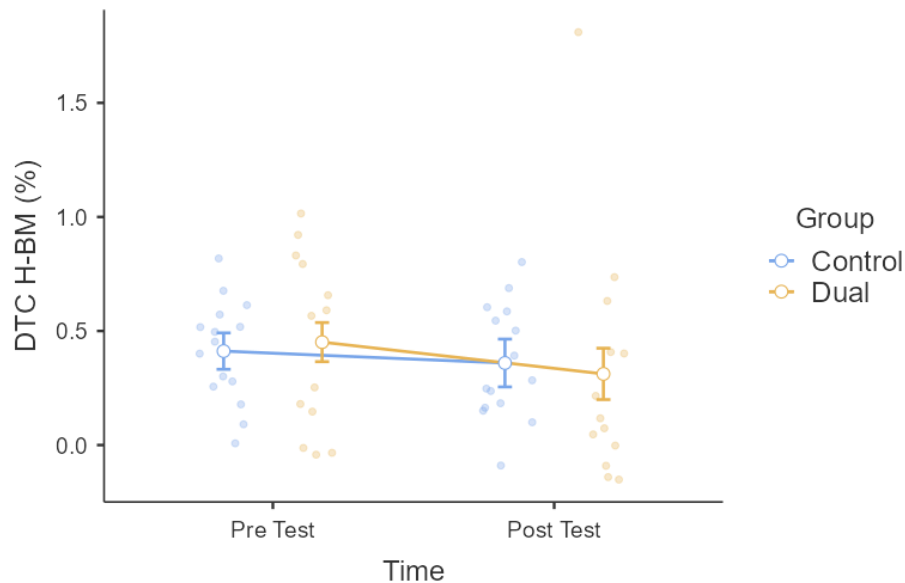


Anmerkung. Prozentuale Entwicklung der Dual-Task Costs (DTC) unter der Gleichgewichtsbedingung «Easy balance + Motor» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

Die Analyse der Dual-Task-Cost (DTC) der Bedingung «Easy balance + Motor» zwischen dem Pre- und dem Posttest (Abbildung 24) ergab keine statistisch signifikanten Ergebnisse gemäss dem repeated measure ANOVA-Test. Es konnten keine signifikanten Veränderungen der prozentualen Progression zwischen den beiden Tests in Bezug auf den Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 0.00, p = 0.991, \eta^2_p = 0.00$), den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 1.02, p = 0.321, \eta^2_p = 0.04$) oder die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 0.40, p = 0.534, \eta^2_p = 0.02$) festgestellt werden.

Abbildung 25

Entwicklung des Dual-Task Costs (DTC) unter der Bedingung: Hard balance + Motor



Anmerkung. Prozentuale Entwicklung der Dual-Task Costs (DTC) unter der Gleichgewichtsbedingung «Hard balance + Motor» zwischen Pretest und Posttest nach 3 Wochen Training bei der Interventionsgruppe (Dual) und der Kontrollgruppe (Control). Die Punkte stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

Die Ergebnisse der Dual-Task-Cost-Analyse zwischen Pre- und Posttest der Bedingung «Hard Balance + Motor» (Abbildung 25) zeigen gemäss dem repeated measure ANOVA-Test weder für den Faktor Zeit ($F_{1, 26} = 1.57, p = 0.221, \eta^2_p = 0.06$), den Faktor Gruppe ($F_{1, 26} = 0.00, p = 0.971, \eta^2_p = 0.00$) noch für die Interaktion Zeit*Gruppe ($F_{1, 26} = 0.33, p = 0.573, \eta^2_p = 0.01$) signifikante Werte.

3.4 Zusammenfassung

Tabelle 2

Messungen der Ergebnisse (repeated measures ANOVA über die Zeit)

	DUAL			CONTROL			p-value		
	pre	post	diff. (%)	pre	post	diff. (%)	Time	Group	Time × groupe
Sway E-B (deg/s)	7.45	6.43	-13.68	7.76	6.85	-11.65	0.076	0.623	0.951
Sway E-BM (deg/s)	9.98	7.56	-22.28	10.71	10.14	-5.34	0.030	0.141	0.179
Sway E-BC (deg/s)	7.01	5.80	-17.24	6.92	5.51	-20.38*	< .001	0.843	0.740
Sway H-B (deg/s)	18.05	16.15	-10.49	21.20	20.58	-2.89	0.091	0.147	0.332
Sway H-BM (deg/s)	23.87	19.58	-17.98*	29.84	27.32	-8.47	0.003	0.021	0.261
Sway H-BC (deg/s)	16.86	15.35	-8.97	21.06	19.58	-6.99*	0.009	0.120	0.680
DTC E-BM (%)	39.62	33.15	-16.35	46.95	53.66	14.28	0.991	0.321	0.534
DTC E-BC (%)	-5.25	-5.95	13.46	-4.34	-15.15	249.28	0.328	0.641	0.390
DTC H-BM (%)	45.12	31.19	-30.88	41.18	35.97	-12.66	0.221	0.971	0.573
DTC H-BC (%)	-6.36	-4.39	-31.01	-0.76	-4.70	515.82	0.823	0.543	0.502
2-back E-BC (# errors)	0.62	0.27	-56.25	0.50	0.33	-33.33	0.116	0.866	0.574
2-back H-BC (# errors)	0.46	0.23	-50.00	0.47	0.37	-21.43	0.079	0.640	0.476
Ball velocity E-BM (cm/s)	4.09	3.09	-24.53*	4.01	3.80	-5.12	0.009	0.534	0.074
Ball velocity H-BM (cm/s)	8.50	5.22	-38.57*	8.71	7.91	-9.20	< .001	0.216	0.032

Anmerkung. Diese Tabelle fasst die Ergebnisse der durchgeführten repeated measures A-NOVA-Test zusammen und zeigt die prozentuale Entwicklung der einzelnen Gruppen auf. Die p-Werte für die drei analysierten Faktoren (Zeit, Gruppe und Zeit*Gruppe) sind angegeben, wobei signifikante Werte ($p < 0,05$) fettgedruckt sind. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in den Abbildungen 8-21 dargestellt. Ein Stern (*) kennzeichnet eine signifikante Verbesserung zwischen dem Pre- und Posttest.

4 Diskussion

4.1 Einfluss des DT-Trainings auf die ST-Gleichgewichtsleistung

Die Hypothese H0 hat sich bestätigt, ein allgemeines Dual-Task-Gleichgewichtstraining führte in unserer Studie nicht zu einer signifikant besseren Leistung bei einer spezifischen Gleichgewichtsaufgabe. Entgegen unseren Erwartungen konnten in der Interventionsgruppe keine signifikanten Veränderungen der Gleichgewichtsleistung unter den Bedingungen «Easy balance» (E-B) und «Hard balance» (H-B) festgestellt werden. Obwohl die Interventionsgruppe eine grössere prozentuale Verbesserung in der Gleichgewichtsleistung in beiden Bedingungen verzeichnete (E-B: -13.68 %; H-B: -10.49 %), waren diese Verbesserungen nicht signifikant grösser als die der Kontrollgruppe (E-B: -11.65 %; H-B: -2.89 %). Dies deutet darauf hin, dass allgemeines Gleichgewichtstraining unter Dual-Task-Bedingungen keinen signifikanten Einfluss auf die Gleichgewichtsleistung unter Single-Task-Bedingungen hat. Die Ergebnisse einer Studie von Giboin et al. (2015) zeigten, dass Verbesserungen der Gleichgewichtsleistung nur bei spezifisch trainierten Aufgaben beobachtet werden können, was mit unseren Ergebnissen übereinstimmt. In den Trainings unserer Studie verwendeten wir neben der Testplattform eine Vielzahl anderer Geräte, die das Gleichgewicht unterschiedlich herausforderten. Dies deutet darauf hin, dass nur eine geringe bis keine Übertragung von diesen Gleichgewichtsaufgaben auf die spezifische Testaufgabe stattgefunden hat.

Wie bereits erwähnt, zeigte auch die Kontrollgruppe eine Verbesserung der Gleichgewichtsleistung, wenn auch keine signifikante. Insbesondere unter der Bedingung «Easy balance» wies die Kontrollgruppe eine nahezu gleich grosse prozentuale Verbesserung wie die Interventionsgruppe auf. Eine mögliche Erklärung für diese Entwicklung liegt im Testablauf. Nach den für diese Arbeit verwendeten Messungen verbrachten die Teilnehmer noch etwa 25 Minuten auf der Plattform, um neurophysiologische Messungen durchzuführen. Diese zusätzliche Zeit auf der Testplattform könnte einen spezifischen Trainingseffekt ausgelöst haben, wodurch sich auch die Leistung der Kontrollgruppe verbessert hat. In der Studie von Egger et al. (2021) wurde bereits nach sechs Versuchen von jeweils acht Sekunden eine signifikante Verbesserung der Gleichgewichtsleistung auf der selben Plattform festgestellt. Dieses Erkenntnis wirft die Frage auf, ob die Leistungsverbesserung der Interventionsgruppe ebenfalls auf diese zusätzliche Zeit nach den Leistungsmessungen zurückzuführen sein könnte.

Es müssen jedoch auch andere Faktoren berücksichtigt werden, die diese Ergebnisse beeinflusst haben könnten. Dazu gehören unter anderem die möglicherweise zu geringe Trainingsintensität

und -frequenz, die bereits sehr sportlichen Teilnehmer mit einem ohnehin guten Gleichgewichtssinn sowie die zusätzliche Zeit auf der Testplattform nach den Leistungsmessungen, wodurch potenziell ein spezifischer Trainingseffekt ausgelöst wurde. Diese Faktoren werden ausführlicher im Kapitel 4.4 Limitationen erläutert.

Ein Vergleich mit der Single-Task-Trainingsgruppe, deren Daten in einer separaten Arbeit behandelt wurden (Catano, 2023), hätte möglicherweise weitere Einblicke in die Auswirkungen des Dual-Task-Trainings auf die Gleichgewichtsleistung gegeben. Es wäre von Vorteil gewesen, wenn beide Trainingsgruppen das selbe Basistraining absolviert hätten, wobei die Dual-Task-Gruppe zusätzlich eine Zweitaufgabe durchführte. Da sich das Training der beiden Gruppen jedoch stark unterschied, ist ein Vergleich in diesem Fall nicht ideal.

4.2 Einfluss des DT-Trainings auf die DT-Leistung

Ein allgemeines Dual-Task-Gleichgewichtstraining führte in unserer Studie nicht zu einer signifikanten Leistungsverbesserung bei einer spezifischen Gleichgewichtsaufgabe, wenn eine motorische oder kognitive Zweitaufgabe hinzugefügt wurde. Alle vier Dual-Task-Bedingungen zeigten eine signifikante Veränderung des Sways für den Faktor Zeit sowie zusätzlich für den Faktor Gruppe unter der Bedingung «Hard balance + Motor». Entgegen unseren Erwartungen war es die Kontrollgruppe, welche sich zwischen Pre- und Posttest signifikant unter den Bedingungen «Easy balance + Cognitive» ($p < .001$) und «Hard balance + Cognitive» ($p = 0.009$) verbessert hat. Im Vergleich zur prozentualen Entwicklung der Interventionsgruppe konnte jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Bei der Bedingung «Easy balance + Motor» wurde eine signifikante Veränderung des Sways festgestellt. Dabei hat sich die Interventionsgruppe (-22.28 %) deutlich stärker verbessert als die Kontrollgruppe (-5.34 %), jedoch war keine der Verbesserungen signifikant. Es wurde ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen der prozentualen Entwicklung der beiden Gruppen festgestellt. Die Bedingung «Hard balance + Motor» zeigte eine signifikante Verbesserung des Sways für den Faktor Zeit ($p = 0.003$) und den Faktor Gruppe ($p = 0.021$). Dabei verbesserte sich die Interventionsgruppe signifikant zwischen Pre- und Posttest um -17.98 %. In allen Bedingungen kann bei beiden Gruppen eine Tendenz zur Verbesserung beobachtet werden, wobei die prozentuale Verbesserung der Interventionsgruppe generell grösser als die der Kontrollgruppe ist. Es hat sich also weder die Hypothese H0' noch die Hypothese H1' bestätigt.

Wollesen & Voelcker-Rehage (2014) kamen in ihrem Review zum Schluss, dass ein allgemeines Dual-Task-Training der beste Ansatz zur Verbesserung der motorischen Leistung sei. Unsere Studienergebnisse zeigen jedoch, dass keine signifikante Leistungsverbesserung erzielt

wurde. Zwar konnte die Interventionsgruppe ihre Leistung steigern, jedoch wurde unter keiner der untersuchten Bedingung ein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe festgestellt. Diese Ergebnisse stützen die in der Literatur weit verbreitete Annahme, dass Gleichgewichtstraining – unabhängig davon, ob es unter Dual-Task- oder Single-Task-Bedingungen erfolgt – dem Prinzip der Aufgabenspezifität folgt. Daher scheint ein allgemeines Dual-Task-Training nicht geeignet zu sein, eine spezifische Gleichgewichtsleistung signifikant zu verbessern.

Wie bereits in Kapitel 4.1 erwähnt, haben die Teilnehmer nach den Leistungsmessungen noch zusätzliche 25 Minuten auf der Testplattform verbracht, was einen spezifischen Trainingseffekt ausgelöst haben könnte. Dies kann den Fortschritt der Kontrollgruppe und den fehlenden Unterschied zwischen den beiden Gruppen erklären. Das würde jedoch auch bedeuten, dass es möglich ist, dass jeglicher Trainingseffekt der Interventionsgruppe ebenfalls durch diese zusätzliche Zeit auf der Plattform ausgelöst wurde und nicht durch das Training. Mit dem vorliegenden Studiendesign ist es unmöglich zu sagen, ob der Trainingseffekt der Interventionsgruppe durch diese zusätzliche Zeit auf der Plattform beeinflusst wurde oder nicht.

Es ist möglich, dass die Teilnehmer der Dual-Task-Gruppe nach dem Training ihre Prioritäten anders setzten und sich verstärkt auf die Zweitaufgabe konzentrierten. Dies könnte einerseits darauf zurückzuführen sein, dass die Gleichgewichtsaufgabe durch das Training automatisiert wurde und somit weniger Aufmerksamkeit erforderte. Andererseits könnte im Training zu viel Gewicht auf die Zweitaufgabe gelegt worden sein, wodurch die Gleichgewichtsaufgabe vernachlässigt wurde. Die Kontrollgruppe hätte sich in diesem Fall mehr auf die Gleichgewichtsaufgabe als auf die Zweitaufgabe konzentriert. Dies würde erklären, weshalb die Interventionsgruppe zwar Fortschritte im Gleichgewicht verzeichnete, sich jedoch nicht signifikant verbesserten oder von der Kontrollgruppe unterschied. Diese Erklärung wird auch durch die Ergebnisse der Zweitaufgabe unterstützt. Bei der motorischen Zweitaufgabe konnte eine signifikante Verbesserung der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel in der einfachen ($p = 0.009$) sowie in der schwierigen ($p < .001$) Bedingung beobachtet werden. Die Hypothese H1'' hat sich für die motorische Zweitaufgabe bestätigt. In beiden Bedingungen nahm die Kugelgeschwindigkeit bei der Interventionsgruppe signifikant ab, in der einfachen Bedingung um 24.53 % und in der schwierigen um 38.57 %. Die Leistung der Interventionsgruppe hat sich unter der Bedingung «Hard Balance + Motor» sowohl in der Gleichgewichtsaufgabe als auch in der motorischen Zweitaufgabe signifikant verbessert. Diese signifikante Leistungssteigerung kann direkt auf die durchgeführte Trainingsintervention zurückgeführt werden.

Bei der Kontrollgruppe wurde keine signifikante Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel festgestellt. Dies stimmt mit der Studie von Kiss et al. (2018) überein, die ergab, dass

sich die Trainingsgruppen in ihren zugewiesenen und trainierten Aufgaben verbesserten, wobei sich die Dual-Task-Gruppe sowohl in der Gleichgewichts- als auch in der Zweitaufgabe verbesserte. Ähnlich wie in unserer Studie konnte zwischen der Single-Task- und Dual-Task-Gruppe kein signifikanter Unterschied in der Gleichgewichtsleistung unter Dual-Task-Bedingung festgestellt werden. Die Ergebnisse der Studie von Kiss et al. (2018) deuten darauf hin, dass durch das Dual-Task-Training zentrale Ressourcen freigesetzt werden. Diese freigesetzten Ressourcen könnten dafür verantwortlich sein, dass sich die Interventionsgruppe unserer Studie in den Zweitaufgaben verbesserte, während die Kontrollgruppe keine signifikanten Fortschritte zeigte. Diese Annahme wird auch durch die DTC unterstützt, die in der Interventionsgruppe für beide motorischen Dual-Task-Bedingungen, wenn auch nicht signifikant, abgenommen haben. Die niedrigeren DTC im Posttest im Vergleich zum Pretest deuten darauf hin, dass sich die Leistung in der Hauptaufgabe unter der Dual-Task-Bedingung verbessert hat.

Die Hypothese H0'' hat sich für die kognitive Zweitaufgabe bestätigt. Bei der kognitiven Aufgabe konnten keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden und auch die DTC zeigten keine signifikante Veränderung. Dies legt nahe, dass das Verhältnis zwischen der Gleichgewichtsaufgabe und der kognitiven Zweitaufgabe durch das Dual-Task-Training unverändert blieb. Die Resultate zeigen jedoch, dass sich die Interventionsgruppe stärker verbessert hat als die Kontrollgruppe, auch wenn der Unterschied nicht signifikant ist. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis ist, dass die kognitive Aufgabe zu einfach war. In mehreren Studien nahm das posturale Schwanken signifikant ab, wenn gleichzeitig schwierige kognitive Aufgaben durchgeführt wurden, während bei einfachen kognitiven Aufgaben keine signifikante Abnahme beobachtet wurde. Swan et al. (2007) vermuten, dass das posturale Schwanken mit zunehmender Schwierigkeit der kognitiven Aufgabe abnimmt. Die Ergebnisse von Polskaia & Lajoie (2016) zeigten ebenfalls, dass die Schwankungsvariabilität signifikant abnahm, je höher die Schwierigkeit der kognitiven Aufgaben war. Kiss et al. (2018) nehmen an, dass zu einfache kognitive Aufgaben keine Schwierigkeiten beim Dual-Tasking verursachen.

Ähnlich ist es denkbar, dass die einfache Gleichgewichtsbedingung zu wenig anspruchsvoll war, was dazu führte, dass die Teilnehmer keine besondere Aufmerksamkeit auf das Gleichgewicht lenken mussten und somit der Trainingseffekt entsprechend nicht beurteilt werden konnte. Die Messwerte des Sways unter den «Easy»-Bedingungen sind gering, was das Erzielen von signifikanten Ergebnissen erschwert. Guadagnoli & Lee (2004) präsentieren in ihrem Artikel das «Challenge Point Framework», das unter anderem den Zusammenhang zwischen dem Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe und der durch deren Ausführung generierten Information beschreibt. Die Autoren argumentieren, dass die Menge an bereitgestellter Information direkt

mit dem Schwierigkeitsgrad der Aufgabe zusammenhängt. Bei Aufgaben, die einfach sind oder unter dem Fähigkeitsniveau der Person liegen, wird nur eine geringe Menge an nützlicher Information erzeugt. Daher sollte der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe so gewählt werden, dass die Teilnehmer herausgefordert werden, ohne überfordert zu sein. Während für jeden Teilnehmer unserer Studie das Niveau der «Hard»-Bedingungen individuell angepasst wurde, galt dies nicht für die «Easy»-Bedingungen. Folglich ist es möglich, dass die durch die «Easy»-Bedingungen erzeugten Informationen nicht repräsentativ für die Auswirkungen des durchgeführten Trainings sind.

4.3 Einfluss des DT-Trainings auf die Entwicklung der DTC

Die DTC zeigten unter keiner Bedingung und in keiner der Gruppen eine signifikante Veränderung. Dies deutet darauf hin, dass das Verhältnis zwischen den Leistungen der Gleichgewichtsaufgabe und der Zweitaufgabe durch das Dual-Task-Training nicht signifikant verbessert wurde. Die beiden Aufgaben scheinen weiterhin um die begrenzten kognitiven Ressourcen zu konkurrieren, was eine Verringerung der DTC verhinderte.

Obwohl keine signifikanten Veränderungen festgestellt wurden, lässt sich in der Interventionsgruppe eine Tendenz zur Verbesserung erkennen. Die DTC nahmen in drei von vier Bedingungen ab, insbesondere unter den anspruchsvolleren Bedingungen «Hard balance + Motor» und «Hard balance + Cognitive». Diese Tendenz steht im Einklang mit den Ergebnissen von Pavão et al. (2021), die eine Verringerung der DTC bei hohen kognitiven Anforderungen beobachteten. Im Gegensatz dazu zeigte die Kontrollgruppe in drei von vier Bedingungen eine Zunahme der DTC, was darauf hindeutet, dass ihre Gleichgewichtsleistung durch die Zweitaufgabe stärker beeinträchtigt wurde. Dies deutet darauf hin, dass die Kontrollgruppe ohne das Dual-Task-Training anfälliger für die durch die Zweitaufgabe verursachten Störungen war. Die Verringerung der DTC in der Interventionsgruppe könnte daher als ein Resultat des durchgeführten Trainings interpretiert werden. Angesichts der fehlenden Signifikanz der Veränderungen sind die Aussagekraft dieser Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen begrenzt.

Möglicherweise war das Training nicht ausreichend intensiv oder umfassend, um einen signifikanten Trainingseffekt auszulösen oder die Verarbeitungskapazität zu beeinflussen. Lüder et al. (2018) führten eine Studie mit gesunden Jugendlichen durch, wobei sie keine signifikanten Auswirkungen der DTC auf die Leistung der Zweitaufgabe feststellten, unabhängig davon, ob unter Single-Task- oder Dual-Task-Bedingungen trainiert wurde. Es könnte daher sein, dass die DTC nicht immer ein verlässlicher Indikator für die Wirksamkeit des Trainings sind. Im

Gegensatz zu der Studie von Lüder et al. (2018) umfasste unsere Untersuchung eine Kontrollgruppe, die keine Trainings absolvierte. Darüber hinaus sollten die unterschiedlichen Studienpopulationen berücksichtigt werden, da es zwischen den Altersgruppen signifikante Unterschiede in den DTC bei der gleichzeitigen Ausführung von zwei Aufgaben gibt (Li et al., 2001).

4.4 Limitationen

Methodische Einschränkungen unserer Studie wie die Gestaltung und Art der Trainingsinhalte könnten zu den teilweise widersprüchlichen Ergebnissen beigetragen haben. In ihrem Review betonen Wollesen & Voelcker-Rehage (2014), dass die Aufgabenschwierigkeit während des Trainings systematisch erhöht werden sollte, um optimale Lernfortschritte zu erzielen. Auch Muehlbauer et al. (2012) berichten, dass sich das neuromuskuläre System beim Gleichgewichtstraining spezifisch und progressiv an die Trainingsintensität anpasst. Daher ist es sinnvoll, die Trainingsintensität zu steigern, indem die Übungsdauer verlängert wird oder mehr Übungssätze und Trainingseinheiten geplant werden. In unseren Trainings wurde die Schwierigkeit der Übungen an das individuelle Niveau und die Tagesform der Teilnehmer angepasst; es ist jedoch möglich, dass diese Anpassung nicht ausreichend fordernd war. Die Trainingschwierigkeit sollte in zukünftigen Studien progressiv und systematisch erhöht werden. Auch der Trainingsumfang und die Trainingsfrequenz sollten dem aktuellen Forschungsstand angepasst werden. Nach Guadagnoli & Lee (2004) würde dies zu mehr und reichhaltigeren Informationen über die ausgeführten Aufgaben und die Auswirkungen des Trainings führen. Es ist auch denkbar, dass die kognitive Aufgabe in unserer Studie zu einfach war und somit nur eine geringe oder gar keine Interferenz verursachte, wie es auch Kiss et al. (2018) in ihrer Forschung beschrieben haben. Wie bereits erwähnt, wurden nach den Leistungsmessungen zusätzliche neurophysiologische Tests auf derselben Plattform durchgeführt, wodurch sich die Teilnehmer weiter an die Gleichgewichtsaufgabe gewöhnen konnten. Obwohl den Teilnehmern angewiesen wurde, sich während der neurophysiologischen Tests nicht auf ihre Gleichgewichtsleistung zu konzentrieren, könnte die zusätzliche Zeit auf der Plattform dennoch einen signifikanten Trainingseffekt ausgelöst haben, wie bereits in früheren Studien beobachtet wurde (Egger et al., 2021). Dies könnte dazu geführt haben, dass die Kontrollgruppe ihre Funktion als Vergleichsgruppe verlor, was die Bewertung der tatsächlichen Auswirkungen des Trainings erschwert und potenziell zu einer Verfälschung unserer Ergebnisse geführt hat. Darüber hinaus ist es denkbar, dass die zusätzliche Zeit auf der Plattform zu einem Überlern-Effekt geführt hat, bei dem die Gleichgewichtsaufgabe automatisiert wurde. Dies würde bedeuten, dass die Interferenz selbst für die Kontrollgruppe minimal war, wodurch mehr kognitive Ressourcen für die Ausführung

der Zweitaufgabe verfügbar waren. Diese Überlegung stimmt mit den Ergebnissen von Kiss et al. (2018) überein.

Eine weitere mögliche Einschränkung der Studie besteht darin, dass die Pre- und Posttests zu unterschiedlichen Tageszeiten für die Teilnehmer stattfanden, wobei der Pretest teilweise am Nachmittag und der Posttest am Morgen durchgeführt wurde. Mehrere Studien haben gezeigt, dass die Tageszeit einen Einfluss auf die posturale Kontrolle und Gleichgewichtsfähigkeiten haben kann. Beispielsweise haben Kwon et al. (2014) das statische und dynamische Gleichgewicht junger Männer mittels einer Kraftplattform zu drei verschiedenen Tageszeiten (9 Uhr, 13 Uhr und 17 Uhr) untersucht und festgestellt, dass das Gleichgewicht am Morgen am besten und am Mittag am schlechtesten war. Ein Review von Halpern et al. (2022) zeigte jedoch, dass die optimale Tageszeit für das Gleichgewicht je nach Studie variiert, und einige Studien fanden keinen Einfluss der Tageszeit. Das Review selbst identifizierte einen kleinen, aber statistisch signifikanten Effekt zugunsten des Abends. Für unsere Studie könnte dies bedeuten, dass die unterschiedlichen Tageszeiten der Tests möglicherweise die Gleichgewichtsfähigkeiten der Teilnehmer beeinflusst und somit die Ergebnisse verfälscht haben. Weitere Forschung ist erforderlich, um den Einfluss der Tageszeit auf die posturale Kontrolle besser zu verstehen.

Abschliessend ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse möglicherweise durch die Zusammensetzung der Teilnehmerpopulation beeinflusst wurden. Die Rekrutierung erfolgte überwiegend aus dem persönlichen Umfeld der Studienleitung, was dazu führte, dass vorwiegend aktuelle oder ehemalige Sportstudenten sowie Personen, die aktiv in Sportvereinen engagiert sind, teilnahmen. Trotz der zufälligen Zuweisung zu den Gruppen war die Interventionsgruppe tendenziell stärker sportlich aktiv als die Kontrollgruppe. Dies könnte erklären, warum bereits beim Pretest der Sway in der Interventionsgruppe in den meisten Bedingungen geringer war als in der Kontrollgruppe, ausser in der Bedingung „Easy balance + Cognitive“. Es könnte schwierig sein, die Gleichgewichtsleistung bei bereits sportlich aktiven Individuen weiter zu verbessern, da deren Gleichgewichtsfähigkeit möglicherweise bereits auf einem hohen Niveau liegt und somit weniger Verbesserungspotenzial besteht.

Zusammenfassend liegen die Einschränkungen unserer Studie in der unzureichenden Intensität des Trainings, der möglichen Wirkung zusätzlicher Zeit auf der Testplattform nach den Leistungsmessungen, der möglicherweise zu einfachen kognitiven Aufgabe, der übermässigen Sportlichkeit der Teilnehmern und den unterschiedlichen Testzeiten.

4.5 Ausblick

Für zukünftige Studien, welche ein ähnliches Studiendesign verwenden, wird empfohlen, anspruchsvollere kognitive Aufgaben einzusetzen (z.B. 3-back anstatt 2-back) oder verschiedene Schwierigkeitsstufen der kognitiven Aufgabe zu integrieren, wie es in den Studien von Swan et al. (2007) und Polskaia & Lajoie (2016) durchgeführt wurde. Dies könnte die Interferenz erhöhen und detailliertere Informationen über die ausgeführten Aufgaben liefern. Zudem sollte auch die «Easy»-Bedingung an die Gleichgewichtsfähigkeiten der Teilnehmer angepasst werden und nicht nur die «Hard»-Bedingung, um die Vergleichbarkeit der Bedingungen zu gewährleisten.

Des Weiteren wäre es sinnvoll, die Effekte eines allgemeinen Dual-Taks-Gleichgewichtstraining bei weniger sportlich aktiven Populationen zu untersuchen, um festzustellen, ob diese Gruppen stärker profitieren. Hierbei wäre ein Vergleich der allgemeinen Trainingsgruppe nicht nur mit einer Kontrollgruppe ohne Trainings, sondern auch mit einer spezifischen Dual-Task-Trainingsgruppe von Vorteil. Dadurch können die Auswirkungen eines allgemeinen Gleichgewichtstrainings unter Dual-Task-Bedingungen möglicherweise präziser bewertet werden.

Zusätzlich sollten zukünftige Studien die Tests zu einheitlichen Tageszeiten durchzuführen, da die Tageszeit signifikante Auswirkungen auf die Gleichgewichtsleistung haben kann (Halpern et al., 2022; Kwon et al., 2014). Das Einsetzen eines qualitativen Fragebogens zur Erfassung der Tagesform, der subjektiven Leistungsbewertung und anderer Einflussfaktoren (z.B. Anzahl Stunden Schlaf) könnte ebenfalls wertvolle Erkenntnisse liefern.

Insgesamt zeigt unsere Studie, dass weiterführende Forschungen zu Gleichgewicht und Dual-Task-Gleichgewichtstraining erforderlich sind, um die Gleichgewichtsleistung zu optimieren, die Sturz- und Verletzungsprävention zu verbessern, die kognitiv-motorische Interaktion besser zu verstehen und Trainings- sowie Rehabilitationsprogramme zu optimieren.

5 Schlussfolgerung

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss eines allgemeinen Dual-Task-Gleichgewichtstrainings auf die Gleichgewichtsleistung und Zweitaufgabe zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass ein Dual-Task-Training die Gleichgewichtsleistung unter Dual-Task-Bedingungen, insbesondere bei einer motorischen Zweitaufgabe, verbessern kann. Das allgemeine Dual-Task-Training zeigte auch eine signifikante Verbesserung der Leistung bei der motorischen Zweitaufgabe, während bei der kognitiven Zweitaufgabe keine signifikante Verbesserung festgestellt werden konnte. Es ist wahrscheinlich, dass ein aufgabenspezifisches Dual-Task-Training zu einer noch stärkeren Leistungsverbesserung führen würde. Darüber hinaus scheint das Dual-Task-Training wenig effektiv zu sein, um die Gleichgewichtsleistung unter Single-Task-Bedingungen zu verbessern, und hat keinen signifikanten Einfluss auf die Dual-Task-Costs gezeigt. Da sich die Kontrollgruppe unter allen Bedingungen ebenfalls in der Gleichgewichtsleistung verbessert hat und die Studie einige methodische Einschränkungen aufweist, sollten die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden. Zukünftige Forschungen in diesem Bereich sollten aktuelle Empfehlungen hinsichtlich Trainingsintensität, -umfang und Aufgabenschwierigkeit berücksichtigen und idealerweise eine aufgabenspezifische Dual-Task-Trainingsgruppe zum Vergleich einbeziehen. Auf diese Weise könnten genauere Erkenntnisse über die spezifischen Effekte des Dual-Task-Trainings auf die Gleichgewichtsleistung gewonnen werden.

Literatur

- Beurskens, R., Steinberg, F., Antoniewicz, F., Wolff, W. & Granacher, U. (2016). Neural Correlates of Dual-Task Walking: Effects of Cognitive versus Motor Interference in Young Adults. *Neural Plasticity*, 2016, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2016/8032180>
- Brustio, P. R., Rabaglietti, E., Formica, S. & Liubicich, M. E. (2018). Dual-task training in older adults: The effect of additional motor tasks on mobility performance. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 75, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2017.12.003>
- Catano, F. (2023). *Influence de l'entraînement à l'équilibre en simple tâche sur la performance d'équilibre en simple et en double tâche chez les jeunes adultes* [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Universität Freiburg & Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen
- Colledge, N. R., Cantley, P., Peaston, I., Brash, H., Lewis, S. & Wilson, J. A. (2009). Ageing and Balance: The Measurement of Spontaneous Sway by Posturography. *Gerontology*, 40(5), 273–278. <https://doi.org/10.1159/000213596>
- Donath, L., Roth, R., Zahner, L. & Faude, O. (2017). Slackline Training (Balancing Over Narrow Nylon Ribbons) and Balance Performance: A Meta-Analytical Review. *Sports Medicine*, 47(6), 1075–1086. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0631-9>
- Egger, S., Wälchli, M., Rüeger, E. & Taube, W. (2021). Interference of balance tasks revisited: Consolidation of a novel balance task is impaired by subsequent learning of a similar postural task. *Gait & Posture*, 84, 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.12.015>
- Friedrich, W. (2022). *Optimales Sportwissen: Grundlagen der Sporttheorie und Sportpraxis* (5., überarbeitete und erweiterte Auflage). Spitta.
- Giboin, L.-S., Gruber, M. & Kramer, A. (2015). Task-specificity of balance training. *Human Movement Science*, 44, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.08.012>
- Giboin, L.-S., Gruber, M. & Kramer, A. (2018). Three months of slackline training elicit only task-specific improvements in balance performance. *PLOS ONE*, 13(11), Artikel e0207542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207542>
- Granacher, U., Iten, N., Roth, R. & Gollhofer, A. (2010). Slackline Training for Balance and Strength Promotion. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 717–723. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1261936>

- Granacher, U., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., Kressig, R. W. & Zahner, L. (2011). An Intergenerational Approach in the Promotion of Balance and Strength for Fall Prevention – A Mini-Review. *Gerontology*, 57(4), 304–315. <https://doi.org/10.1159/000320250>
- Gruber, M. & Gollhofer, A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *European Journal of Applied Physiology*, 92(1–2), 98–105. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1080-y>
- Guadagnoli, M. A. & Lee, T. D. (2004). Challenge Point: A Framework for Conceptualizing the Effects of Various Practice Conditions in Motor Learning. *Journal of Motor Behavior*, 36(2), 212–224. <https://doi.org/10.3200/JMBR.36.2.212-224>
- Halpern, A. I., Jansen, J. A. F., Giladi, N., Mirelman, A. & Hausdorff, J. M. (2022). Does Time of Day influence postural control and gait? A review of the literature. *Gait & Posture*, 92, 153–166. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.10.023>
- Judge, J. (2003). Balance training to maintain mobility and prevent disability. *American Journal of Preventive Medicine*, 25(3), 150–156. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(03\)00178-8](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(03)00178-8)
- Kiss, R., Brueckner, D. & Muehlbauer, T. (2018). Effects of Single Compared to Dual Task Practice on Learning a Dynamic Balance Task in Young Adults. *Frontiers in Psychology*, 9, 311. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00311>
- Kwon, Y. H., Choi, Y. W., Nam, S. H. & Lee, M. H. (2014). The Influence of Time of Day on Static and Dynamic Postural Control in Normal Adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(3), 409–412. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.409>
- Li, K. Z. H., Lindenberger, U., Freund, A. M. & Baltes, P. B. (2001). Walking While Memorizing: Age-Related Differences in Compensatory Behavior. *Psychological Science*, 12(3), 230–237. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00341>
- Li, K. Z. H., Roudaia, E., Lussier, M., Bherer, L., Leroux, A. & McKinley, P. A. (2010). Benefits of Cognitive Dual-Task Training on Balance Performance in Healthy Older Adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 65A(12), 1344–1352. <https://doi.org/10.1093/gerona/gdq151>
- Lüder, B., Kiss, R. & Granacher, U. (2018). Single- and Dual-Task Balance Training Are Equally Effective in Youth. *Frontiers in Psychology*, 9, Artikel 912. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00912>

- Muehlbauer, T., Roth, R., Bopp, M. & Granacher, U. (2012). An Exercise Sequence for Progression in Balance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 568–574. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318225f3c4>
- Mujdeci, B., Turkyilmaz, D., Yagcioglu, S. & Aksoy, S. (2016). The effects of concurrent cognitive tasks on postural sway in healthy subjects. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 82(1), 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2015.10.011>
- Olivier, N., Rockmann, U. & Krause, D. (2013). *Grundlagen der Bewegungswissenschaft und -lehre* (2., überarbeitete und erweiterte Auflage). Hofmann.
- Pavão, S. L., Lima, C. R. G. & Rocha, N. A. C. F. (2021). Effects of motor and cognitive manipulation on the dual-task costs of center of pressure displacement in children, adolescents and young adults: A cross-sectional study. *Clinical Biomechanics*, 84, Artikel 105344. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2021.105344>
- Pellecchia, G. L. (2003). Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait & Posture*, 18(1), 29–34. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(02)00138-8)
- Pellecchia, G. L. (2005). Dual-Task Training Reduces Impact of Cognitive Task on Postural Sway. *Journal of Motor Behavior*, 37(3), 239–246. <https://doi.org/10.3200/JMBR.37.3.239-246>
- Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J. & Paul, J. P. (2000). What is balance? *Clinical Rehabilitation*, 14(4), 402–406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>
- Polskaia, N. & Lajoie, Y. (2016). Reducing postural sway by concurrently performing challenging cognitive tasks. *Human Movement Science*, 46, 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.12.013>
- Prado, J. M., Stoffregen, T. A. & Duarte, M. (2007). Postural Sway during Dual Tasks in Young and Elderly Adults. *Gerontology*, 53(5), 274–281. <https://doi.org/10.1159/000102938>
- Ruffieux, J., Keller, M., Lauber, B. & Taube, W. (2015). Changes in Standing and Walking Performance Under Dual-Task Conditions Across the Lifespan. *Sports Medicine*, 45(12), 1739–1758. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0369-9>
- Schilling, B. K., Falvo, M. J., Karlage, R. E., Weiss, L. W., Lohnes, C. A. & Chiu, L. Z. (2009). Effects of Unstable Surface Training on Measures of Balance in Older Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1211–1216. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181918a83>

- Sherman, D. A., Lehmann, T., Baumeister, J., Gokeler, A., Donovan, L. & Norte, G. E. (2021). External Focus of Attention Influences Cortical Activity Associated with Single Limb Balance Performance. *Physical Therapy*, Artikel pzab223. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab223>
- Swan, L., Otani, H. & Loubert, P. V. (2007). Reducing postural sway by manipulating the difficulty levels of a cognitive task and a balance task. *Gait & Posture*, 26(3), 470–474. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.11.201>
- Taing, D. & McKay, K. (2017). Better Strength, Better Balance! Partnering to deliver a fall prevention program for older adults. *Canadian Journal of Public Health*, 108(3), e314–e319. <https://doi.org/10.17269/CJPH.108.5901>
- The jamovi project (2023). *jamovi* (Version 2.2.5) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>
- Ward, N., Menta, A., Ulichney, V., Raileanu, C., Wooten, T., Hussey, E. K. & Marfeo, E. (2022). The Specificity of Cognitive-Motor Dual-Task Interference on Balance in Young and Older Adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13, Artikel 804936. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.804936>
- Wollesen, B. & Voelcker-Rehage, C. (2014). Training effects on motor–cognitive dual-task performance in older adults: A systematic review. *European Review of Aging and Physical Activity*, 11(1), 5–24. <https://doi.org/10.1007/s11556-013-0122-z>
- Woollacott, M. & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16(1), 1–14. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00156-4](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00156-4)
- Zech, A., Hübscher, M., Vogt, L., Banzer, W., Hänsel, F. & Pfeifer, K. (2010). Balance Training for Neuromuscular Control and Performance Enhancement: A Systematic Review. *Journal of Athletic Training*, 45(4), 392–403. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.4.392>

Anhang

Einverständniserklärung (1/2)



UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

SCIENCES DU MOUVEMENT ET DU SPORT
BEWEGUNGS- UND SPORTWISSENSCHAFTEN

Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Pilot-Studie

Dual task bei Gleichgewichtsaufgaben

- Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch.
- Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas nicht verstehen oder genauer wissen möchten.

Der/die Unterzeichnende bestätigt hiermit:

- Ich garantiere, dass keines der folgenden Ausschlusskriterien auf mich zutrifft:
 - *Neurologische und/oder motorische Beeinträchtigungen*
 - *Gravierende Hirn- und/oder Herzkrankheiten/Verletzungen*
 - *Schwangerschaft*
 - *Epilepsie*
 - *Herzschrittmacher*
 - *Hörimplantate*
 - *Metall im Körper*
- Ich weiss, dass ich die Studie jederzeit ohne irgendwelche negativen Folgen abbrechen kann, auch wenn ich diese Einverständniserklärung unterzeichne.
- Ich verstehe, dass alle persönlichen Daten und Untersuchungsergebnisse sowie die Tatsache seiner Studienteilnahme vertraulich und anonymisiert behandelt werden und nur den direkt an der Studie beteiligten Forschern zugänglich sein werden.
- Ich bin damit einverstanden, dass die gesammelten Daten in anonymer und nicht identifizierbarer Form in einer oder mehreren wissenschaftlichen Veröffentlichungen publiziert werden.
- Ich entscheide mich freiwillig zur Teilnahme an der oben genannten Studie.
- Mir wurden die neurophysiologischen Messungen mit ihren Risiken erklärt.

- **Oberflächen-Elektromyographie (EMG):**

Beim EMG wird die muskuläre Aktivität verschiedener Muskeln durch Elektroden abgeleitet. Hierzu muss eine bestimmte Stelle der Haut über dem Muskel rasiert und durch Desinfektionsmittel gereinigt werden. In Einzelfällen kann es dabei zu kleinen oberflächlichen Hautirritationen kommen. Die Kabel der Elektroden werden auf der Haut gebündelt und angeklebt. Nebenwirkungen sind durch die Verwendung von EMG nicht bekannt.

- **Transkraniale Magnetstimulation (TMS)**

Während der TMS werden Neuronen mit Hilfe einer Magnetspule depolarisiert. Diese Depolarisation führt zu Muskelkontraktionen, welche mittels EMG aufgezeichnet werden. Personen, die für schwerwiegende Nebenwirkungen prädestiniert sind, werden von der TMS ausgeschlossen (siehe Ausschlusskriterien). Obwohl die Methode nicht invasiv und völlig schmerzlos ist, können einige Personen TMS als unangenehm empfinden. Zum Teil kann TMS zu kurzfristigen, leichten Kopfschmerzen führen. Ansonsten gibt es kaum relevante und keinerlei dauerhafte Nebenwirkungen.

Einverständniserklärung (2/2)



UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

SCIENCES DU MOUVEMENT ET DU SPORT
BEWEGUNGS- UND SPORTWISSENSCHAFTEN

- **Periphere Nervenstimulation (PNS)**

Mit der PNS wird der Peroneusnerv in der Kniekehle elektrisch stimuliert. Dies führt zu Muskelkontraktionen im Unterschenkel, welche mittels EMG aufgezeichnet werden. Personen, die eines der Ausschlusskriterien erfüllen, werden vom Experiment ausgeschlossen. Obwohl die Methode nicht invasiv ist wird PNS gelegentlich als unangenehm empfunden. Bitte geben Sie dem Testleiter unbedingt Bescheid, wenn sie die PNS als unangenehm empfinden. Nebenwirkungen von PNS sind bisher keine bekannt.

- Allfällige Fragen konnten gestellt werden und wurden verständlich beantwortet.
- Ich habe die Informationen zu der Studie gelesen und verstanden und bin mit den Bedingungen einverstanden.

Teilnehmer/in

Name und Vorname:

Unterschrift:

Person, die diese Studieninformationen erklärt hat

Ich bestätige, dem oben genannten Probanden die Art, das Ziel, die Dauer, sowie auch die Wirkungen und die Risiken dieser Studie erklärt zu haben.

Name und Vorname:

Unterschrift:

Protokoll des Gleichgewichtstests (1/2)

Dual-Task Balance Study

Code: _____
 Age: _____
 Sex: _____
 Height: _____
 Weight: _____

Group: _____ (Control/Single/Dual)

Foot position: _____ cm (toe→front edge)

EMG settings:

	Position	Pre-test	Post-test
TA Mmax (intensity)	check while sitting		
TA Mmax (μ V)			
TA aMT (%MSO)	check while standing (easy balance)		
TA test pulse (% MT)			
TA condition pulse (% MT)			

- default settings for paired pulse: 70% (condition) and 120% (test)

Balance board setting (tension #):

	Pre-test	Post-test
Easy		
Hard		

Condition order:

	Pre-test	Post-test
Stable balance (start exp't)	1	1
Stable balance (mid exp't)	5	5
Stable balance (end exp't)	9	9
Easy balance		
Easy balance & motor		
Easy balance & n-back		
Hard balance		
Hard balance & motor		
Hard balance & n-back		

Notes:

- two trials per condition
- repeat all easy and hard balance task conditions – once without TMS, once with TMS (same order)
- each TMS trial = 120 s
- each no TMS trial (i.e., performance) = 30 s

Protokoll des Gleichgewichtstests (2/2)

n-back performance:

Pre-Test	File #	# Correct	Post-Test	File #	# Correct
Practice trial 1			Practice trial 1		
Practice trial 2			Practice trial 2		
Easy performance trial 1			Easy performance trial 1		
Easy performance trial 2			Easy performance trial 2		
Hard performance trial 1			Hard performance trial 1		
Hard performance trial 2			Hard performance trial 2		
Easy with TMS trial 1			Easy with TMS trial 1		
Easy with TMS trial 2			Easy with TMS trial 2		
Hard with TMS trial 1			Hard with TMS trial 1		
Hard with TMS trial 2			Hard with TMS trial 2		

Overview performance	Pre	Post
Easy balance		
Easy motor		
Easy n-back		
Hard balance		
Hard motor		
Hard n-back		

Additional notes:

Protokoll Gleichgewichtstraining 1

Balance Task	Dual Task	K/M	n	t/rep	Pause
Balance Disc 1min Pause	Ball auf Hand balancieren 2x linke Hand, 2x rechte Hand	M	4	30 s	30 s
Balance Disc 1min Pause	Ball gegen Wand werfen und fangen	M	4	30 s	30 s
Gleichgewichts-Kissen Einbeinstand; 2x links, 2x rechts 4min Pause: Einrichten, Erklärung	Kugel auf Plateau balancieren (wie beim Test)	M	4	30 s	30 s
Rola Bola Board 1min Pause	Kurze Wörter buchstabieren	K	2	90 s	45 s
Slackline/Seil auf Boden versuchen auf dem Seil zu bleiben 1min Pause	Rückwärts zählen ab dreistelliger Zahl mit minus 3 [z.B. 964, 961, 958, 955, ...]	K	2	90 s	45 s
One Leg Stand 2x links, 2x rechts 2 min Pause, Erklärung, Einrichten	Ball prellen Falls zu einfach: auf Zehenspitzen	M	2	90 s	45 s
Dynamische Standwaage 1x links, 1x rechts [von Einbeinstand in die Standwaage und wieder zurück]	Wörterketten im vorgegebenen Thema ma- chen [Z.B. Thema Tiere: VogelL, LeopardD, Del- phiN, N...]	K	2	90 s	60 s

Anmerkung: K/M = Kognitiv/Motorisch, n = Anzahl Wiederholungen, t/rep = Zeit pro Wiederholung.

Protokoll Gleichgewichtstraining 2 (1/2)

Balance Task	Dual Task	K/M	n	t/rep	Pause
Gleichgewichts-Kissen Einbeinstand; 2x links, 2x rechts 1min Pause	Wasser von einem Becher in den anderen umfüllen	M	4	30 s	40 s
Fussspitzenheber Zehenspitzen in Luft, nur Fersen berühren Boden, Füße parallel 1min Pause	Rückwärts zählen ab dreistelliger Zahl mit minus 3	K	4	30 s	40 s
Einbeinstand (2x links, 2x rechts) Auf ganzem Fuss, geschlossene Augen 2 min Pause, Erklärung, Einrichten	Schnipsen: vor dem Bauch klatschen Klatsch: hinter dem Rücken klatschen	K	4	30 s	40 s
Balance Disk 4 min Pause, Erklärung, Einrichten	Ball prellen	M	3	60 s	60 s
Rola Bola Board 1min Pause	n-Back (mit Buchstaben)	K	2	90 s	60 s
Seilbalancieren/Slack vorwärts und rückwärts hin und her 1min Pause	Kopfrechnen (siehe Anhang)	K	2	90 s	60 s
Rola Bola Board	Ball in die Luft werfen, wieder fangen; Schwieriger: mit 2 o. 3 Bällen jonglieren	M	2	90 s	60 s

Anmerkung. K/M = Kognitiv/Motorisch, n = Anzahl Wiederholungen, t/rep = Zeit pro Wiederholung.

Protokoll Gleichgewichtstraining 2 (2/2)

Aufgabe Kopfrechnen

1. Durchgang

1. $7 \times 3 = 21$
2. $14 - 8 = 6$
3. $8 \times 8 = 64$
4. $63 - 17 = 46$
5. $48 : 12 = 4$
6. $12 + 19 = 31$
7. $40 \times 3 = 120$
8. $317 - 26 = 291$
9. $24 - 17 = 7$
10. $7 \times 8 = 56$
11. $7 \times 9 = 63$
12. $16 + 44 = 60$
13. $134 - 48 = 86$
14. $17 \times 4 = 68$

2. Durchgang

1. $33 - 16 = 17$
2. $17 + 44 = 61$
3. $88 - 102 = -14$
4. $32 : 4 = 8$
5. $8 \times 3 = 24$
6. $72 - 44 = 28$
7. $18 + 64 = 82$
8. $73 \times 3 = 219$
9. $13 + 39 = 52$
10. $14 \times 4 = 56$
11. $122 - 31 = 91$
12. $84 : 3 = 28$

Protokoll Gleichgewichtstraining 3

Balance Task	Dual Task	K/M	n	t/rep	Pause
Balance Disk	Eier balancieren auf Löffel [Pingpong Bälle, verschieden grosse Löffel für Differenzierung]	K	4	40 s	30 s
1 min Pause					
Slackline	Ball aufwerfen und fangen Zu einfach: Jonglieren	M	4	40 s	30 s
1 min Pause					
Mini-Wackelbretter Vorwärts-rückwärts	Stroop- Test	K	4	40 s	30 s
1 min Pause					
Einbeinstand (2x links, 2x rechts) Je nach Niveau auf GGW-Kissen oder auf einem Schaumstoffball	Kugel auf Brett balancieren	M	4	40 s	30 s
4 min Pause, Erklärung, Einrichten					
Wackelbrett «Test» 1x Feder 11, 1x Feder 7//9	Dart werfen	M	2	90 s	45 s
1 min Pause					
Pedalo Wackelbrett mit Federn	n-Back mit Zahlen	K	2	90 s	45 s
1 min Pause					
Pedalo	Jonglieren	M	2	90 s	45 s

Anmerkung. K/M = Kognitiv/Motorisch, n = Anzahl Wiederholungen, t/rep = Zeit pro Wiederholungen.

Protokoll Gleichgewichtstraining 4 (1/2)

Balance Task	Dual Task	K/M	n	t/rep	Pause
Gleichgewichts-Kissen (beidfüssig) 1 min Pause	Ball auf Tablett balancieren	M	4	30 s	30 s
Kleine Wackelbretter Vorwärts, rückwärts 1 min Pause	Kopfrechnen (auf Powerpoint)	K	4	30 s	30 s
Zehenspitzenstand 1 min Pause	Seil knoten (z.B. 8er Knoten, normaler Knoten, ...) // vor und hinter Rücken	M	4	30 s	30 s
Dynamische Standwaage 2x links, 2x rechts 4min Pause, Erklärung, Einrichten	Rückwärts zählen	K	4	30 s	30 s
Rola Bola 1 min Pause	Dart werfen	M	2	120 s	45 s
Test Board 1x leichte Feder, 1x schwierige 1 min Pause	n-back Test (Zahlen)	K	2	120 s	45 s
Pedalo Federbrett	Jonglieren	M	2	120 s	45 s

Anmerkung. K/M = Kognitiv/Motorisch, n = Anzahl Wiederholungen, t/rep = Zeit pro Wiederholung.

Protokoll Gleichgewichtstraining 5 (1/2)

Balance Task	Dual Task	K/M	n	t/rep	Pause
Balance Disk	Stroop Task (gleiche PP wie Training 3)	K	4	40 s	30 s
1 min Pause					
Pedalo	Seil knoten (vor und hinter Rücken)	M	4	40 s	30 s
1 min Pause					
Fussspitzen beidbeinig	Rückwärts zählen mit Minusrechnen Je nach Niveau: -4 / -6 / -7	K	4	40 s	30 s
1 min Pause					
Einbeinstand (2x L, 2x R) auf viereckigem GGW-Kissen	Ball auf Tablett balancieren	M	4	40 s	30 s
4 min Pause, Erklärung, Einrichten					
Seil auf Boden/Slack	n-Back (Zahlen)	K	2	120 s	45 s
1 min Pause					
Kleine Wackelbretter Vorwärts, rückwärts	Pingpongball auf Schläger balancieren/prellen	M	2	120 s	45 s
1 min Pause					
Test-Brett 1x Feder 11, 1x Feder 7/9	Rückwärts (kurze) Wörter buchstabieren (s. Anhang)	K	2	120 s	45 s

Anmerkung. K/M = Kognitiv/Motorisch, n = Anzahl Wiederholungen, t/rep = Zeit pro Wiederholung.

Protokoll Gleichgewichtstraining 5 (2/2)

Aufgabe rückwärts Wörter buchstabieren

Deutsche Wörter

Abfluss	Koffer
Reich	Karte
Flasche	Schere
Tisch	Mütze
Jacke	Fliegen
Lager	Kuchen
Freude	Feier
Jagd	Buch
Nebel	Niere
Erde	Schön
Kopf	Blau
Socke	Brot
Stift	Pfeil
Papier	Reis
Feder	Notiz
Pilz	Wasser
Dusche	Farbe
Birne	Ritzen
Pflaume	Fischen
Blitz	

Französische Wörter

Plage	Casque
Stylo	Chiffre
Mère	Valise
Cœur	Carte
Chasse	Colle
Fraise	Bonnet
Terre	Payer
Chaise	Cuisiner
Table	Porte
Pluie	Camp
Joie	Vessie
Arbre	Belle
Pied	Bleu
Tableau	Pain
Livre	Écrire
Papier	Heure
Plume	Balancer
Douche	Réfléchir

Protokoll Gleichgewichtstraining 6 (1/2)

Balance Task	Dual Task	K/M	n	t/rep	Pause
Mini-Wackelbretter [eigene Audiodatei]	TN reagieren auf Töne: Klopfen: auf Oberschenkel klatschen Glas: Hände klatschen	K	4	40 s	30 s
1 min Pause					
Einbeinstand Blaues/GGW Kissen	Jonglieren (je nach Niveau anpassen)	M	4	40 s	30 s
1 min Pause					
Swissball Je nach Niveau: sitzend, auf Knie, stehend	Kopfrechnen (S. Anhang)	K	4	40 s	30 s
1 min Pause					
Federwackelbrett Pedalo	Dart	M	4	40 s	30 s
4 min Pause, Erklärung, Einrichten					
Balance Disk	n-Back (Buchstaben)	K	2	90 s	45 s
1 min Pause					
Test-Brett 1x Feder 11, 1x Feder 7/9	Eierbalancieren	M	2	90 s	45 s
1 min Pause					
Pedalo	ABC (Länderreihe, Essen, Tiere...) [Albanien, Belgien, Chile, Dänemark, ...]	K	2	90 s	45 s

Anmerkung. K/M = Kognitiv/Motorisch, n = Anzahl Wiederholungen, t/rep = Zeit pro Wiederholung.

Protokoll Gleichgewichtstraining 6 (2/2)

Aufgabe Kopfrechnen

1. Durchgang

$$63 - 17 = 46$$

$$14 \times 5 = 70$$

$$83 + 19 = 102$$

$$232 - 44 = 188$$

$$15 \times 4 = 60$$

2. Durchgang

$$83 \times 4 = 332$$

$$16 + 66 = 83$$

$$243 - 68 = 175$$

$$85 + 67 = 152$$

$$193 - 34 = 159$$

3. Durchgang

$$44 + 99 = 143$$

$$83 - 26 = 57$$

$$16 \times 3 = 48$$

$$49 : 7 = 7$$

$$102 - 18 = 84$$

$$49 + 67 = 116$$

$$33 \times 4 = 132$$

4. Durchgang

$$202 + 346 = 548$$

$$518 - 37 = 481$$

$$68 - 26 = 42$$

$$17 + 27 = 44$$

$$38 - 52 = -14$$