

Masterarbeit zur Erlangung des Masters in Bewegungs- und Sportwissenschaften
Option Gesundheit und Forschung
Departement für Medizin, Universität Freiburg

Einfluss von kurzzeitigem Gleichgewichtstraining auf das motorische Lernen und die kognitive Leistungsfähigkeit

Studentin: Irma Heller
Datum: 8. April 2013

Referent: Prof. W. Taube
Korreferent: PhD Student M. Keller

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Zusammenfassung..... | 2 |
| 2. Einleitung..... | 4 |
| 2.1. Einführung in das Thema..... | 4 |
| 2.2. Hintergrund und Stand des Wissens | 7 |
| 2.2.1. Kognition..... | 7 |
| 2.2.2. Bewegung und Handlung..... | 9 |
| 2.2.3. Gleichgewicht..... | 10 |
| 2.2.4. Einfluss der physischen Aktivität auf kognitive Leistungen | 13 |
| 2.2.5. Neurophysiologische Aspekte..... | 29 |
| 2.3. Ziel und konkrete Fragestellung | 33 |
| 2.4. Hypothesen..... | 33 |
| 3. Methoden | 34 |
| 3.1. Messverfahren | 34 |
| 3.1.1. Visuo-motorische Lernaufgabe..... | 34 |
| 3.1.2. Kognitive Tests | 35 |
| 3.1.3. Gleichgewichtsmessung | 39 |
| 3.2. Stichprobe | 41 |
| 3.3. Intervention: Erlernen einer visuo-motorischen Lernaufgabe | 42 |
| 3.3.1. Lernen mit Gleichgewichtsübungen | 45 |
| 3.3.2. Lernen ohne Gleichgewichtsübungen..... | 46 |
| 3.4. Datenanalyse..... | 47 |
| 3.5. Statistische Analyse | 48 |
| 4. Resultate..... | 49 |
| 4.1. Homogenitätsprüfung | 49 |
| 4.2. Hypothesenprüfung..... | 50 |
| 5. Diskussion und Schlussfolgerung..... | 57 |
| 5.1. Visuo-motorische Lernaufgabe..... | 58 |
| 5.2. Kognitive Tests | 60 |
| 5.3. Gütekriterien | 62 |
| 5.4. Stärken und Schwächen..... | 63 |
| 5.5. Ausblick..... | 64 |
| 6. Literatur..... | 66 |

1. Zusammenfassung

Positive Auswirkungen von physischer Aktivität auf Lebensqualität, Gesundheit und Leistungsfähigkeit in verschiedenen Bereichen sind bekannt. Neben gesundheitsfördernden Effekten auf verschiedene physiologische Faktoren, wie beispielsweise eine Reduktion des Risikos für Herz-Kreislaufkrankheiten, Brustkrebs und Diabetes oder eine Stärkung von Knochen und Gelenken konnten in verschiedenen Studien positive Einflüsse auf psychische Faktoren festgestellt werden: So konnte dadurch nachweislich die Leistungsfähigkeit in kognitiven Leistungstests und das Lernvermögen gesteigert werden. Auch verhaltensbiologische Studien mit gesunden Probanden verweisen vermehrt auf diesen positiven Einfluss von sportlicher Betätigung und so rückt diese Thematik zunehmend ins Zentrum der Aufmerksamkeit.

Im Vordergrund stand längere Zeit die physische Aktivität im aeroben Bereich. Es gibt jedoch auch einige Untersuchungen, die ähnliche Effekte mittels Kraft-, Koordinationstraining oder einem akuten, hochintensiven Training nachweisen konnten. Die Mechanismen, die zur Erklärung der Leistungssteigerung herangezogen wurden, variieren jedoch stark zwischen den verschiedenen Quer- und Längsschnittstudien. Somit können die erklärenden Mechanismen nicht ohne Einschränkungen auf andere Interventions- und Trainingsformen übertragen werden.

In der vorliegenden Studie wird aus diesem Grund der Effekt eines kurzzeitigen Gleichgewichtstrainings auf das Lernen einer motorischen Aufgabe sowie auf die Leistung in zwei kognitiven Tests vor und nach der Intervention untersucht. Der Einfluss des Kurzzeittrainings auf die Lernleistung sollte auf zweierlei Arten evaluiert werden: erstens, um den direkten Einfluss des Kurzzeittrainings auf die Lernleistung zu untersuchen und zweitens, um die Leistung in der visuo-motorischen Aufgabe in den Retention-Tests zwischen den Gruppen vergleichen zu können.

Die 21 Probanden (11 Männer und 10 Frauen) wurden randomisiert einer Kontroll- ($N = 10$, Alter = 24.2 Jahre) beziehungsweise einer Trainingsgruppe ($N = 11$, Alter = 23.6 Jahre) zugeordnet. Beide Gruppen erlernten am ersten Messtag eine visuo-motorische Genauigkeitsaufgabe, bei der eine vorgegebene Soll-Linie durch Kontraktionen des M. biceps brachii mit einer Ist-Linie nachgefahren werden sollte. Ziel dieser Lernaufgabe war einen möglichst geringen Abstand zwischen Soll- und Ist-Linie zu erreichen. Diese Lernaufgabe wurde in fünf Serien zu je 210 Sekunden erlernt. Zwischen den Serien hatten die Testpersonen eine Pause von ca. 5 Minuten. Während die Probanden der

Kontrollgruppe in dieser Pause auf dem Stuhl sitzen blieben, führten jene der Trainingsgruppe in diesen vier Pausen ein Gleichgewichtstraining durch. Bei beiden Gruppen wurden zwei Nachmessungen (Retention 1 und 2) nach zwei respektive nach neun Tagen durchgeführt.

Die Resultate dieser Untersuchung konnten im Vergleich zur Kontrollgruppe keine höhere Leistungsfähigkeit in den Lernaufgaben bei der Trainingsgruppe, sei es bei der visuo-motorischen Genauigkeitsaufgabe noch bei zwei kognitiven Tests, nachweisen. Die Probanden konnten sich zwar in allen Aufgaben durch Übung und Wiederholung verbessern, dies jedoch unabhängig davon, ob begleitend ein kurzzeitiges Gleichgewichtstraining durchgeführt wurde oder nicht. Somit kann die Annahme, dass sich die Probanden mit Gleichgewichtstraining leistungsmässig mehr steigerten als die Probanden der Kontrollgruppe nicht bestätigt werden. Es ist möglich, dass das Training von zu kurzer Dauer oder die Messinstrumente etwas zu wenig differenziert waren. Ausserdem waren die Probanden zahlreichen anderen Einflüssen unterworfen, die im Rahmen dieser Studie nicht kontrolliert werden konnten.

In weiteren Untersuchungen mit grösseren Stichproben könnte von Interesse sein, die Wirkungen von Gleichgewichtstraining noch weiter zu untersuchen. Beispielsweise könnte der Einfluss eines langzeitigen Gleichgewichtstrainings auf dieselben Parameter untersucht werden. Es ist möglich, dass dies einen stärkeren Einfluss auf das Lernen und auf die Konsolidierung einer Lernaufgabe sowie auf die kognitive Leistungsfähigkeit hat. Auch zu Themen wie optimale Dauer und optimale Intensität, um einen positiven Einfluss auf Lernleistung und Kognition zu bewirken, braucht es weitere Untersuchungen.

2. Einleitung

2.1. Einführung in das Thema

Jedermann hat wohl selbst schon erfahren, dass ‚aktive Pausen‘ erholbarer wirken können als passive Pausen. Eine sportliche Betätigung kann neue Kräfte verleihen. Dies kann relevant sein, gerade weil in der heutigen Gesellschaft die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit eine zentrale Rolle spielt.

In den letzten Jahren ist dieses Thema vermehrt ins Interesse der Wissenschaft gerückt. Mittels mehreren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass körperliche Aktivität, vor allem im mittleren Intensitätsbereich, die kognitive Leistung eines Menschen positiv beeinflussen und gar verbessern kann. Verschiedene Studien konnten den positiven Einfluss der physischen Aktivität auf selektive Gehirnfunktionen nachweisen (Hillman et al., 2008; Wegner et al., 2012).

Untersuchungen mit Tier und Mensch konnten zeigen, dass in erster Linie das regelmässige, aerobe Training eine Vielzahl von Aspekten der Kognition positiv beeinflusst (Roig et al., 2012). Es gibt jedoch auch Untersuchungen, die positive Effekte auf das motorische Gedächtnis durch ein einziges, intensives Training nachweisen konnten. Diese Wirkung war am stärksten, wenn das Training sofort nach dem Üben einer motorischen Aufgabe durchgeführt wurde (Roig et al., 2012).

Die physische Aktivität fördert nicht nur die körperliche, sondern auch die mentale und geistige Gesundheit. Gerade für die Prävention vor einem neuronalen und damit verbundenen kognitiven Rückgang kann die Förderung und Promotion von physischer Aktivität wertvoll und effektiv sein (Hillman et al., 2008).

Zahlreiche Studien untersuchen den Einfluss von erhöhter körperlicher Aktivität auf die schulischen Leistungen von Schülerinnen und Schülern. Dabei unterscheiden Forscher zwischen den kurzfristigen, das heisst den „akuten“ sowie den überdauernden, das heisst den „chronischen“ Effekten der körperlichen Aktivität. Im Vordergrund steht die kognitive Leistung während oder sofort nach der körperlichen Betätigung. Zusätzlich wird bei der Art und Weise der körperlichen Aktivität ein Unterschied gemacht: Einerseits die Kategorie der kardiovaskulären Fitness (Ausdauerleistungsfähigkeit) und andererseits jene der „anderen“ sportlichen Aktivitäten. Es mehren sich die Erkenntnisse, dass auch andere Formen von körperlicher Aktivität positive und leistungssteigernde Effekte auf kognitive Funktionen haben können (Windisch et al., 2011).

Eine positive Korrelation von koordinativer Leistung und Kognition konnten bei kleinen Kindern (4 – 6 Jahre) nachgewiesen werden. Im Rahmen jener Studie zeigten die Kinder,

die motorisch besser ausgebildet waren, im kognitiven Bereich bessere Leistungen. Dieser Zusammenhang nimmt mit fortschreitendem Alter ab (Windisch et al., 2011). Die Autoren betonen jedoch, dass es sich bei vielen Studien um Querschnittsstudien handelt und dass diese nur Vermutungen über den Ursprung eines gefundenen Zusammenhangs zulassen. So kann ein Einfluss von körperlicher Betätigung auf die kognitive Leistungsfähigkeit vorliegen, beziehungsweise es kann sich um eine gegenseitige Beeinflussung handeln. Das heisst, eine ausgeprägte kognitive Entwicklung kann die Ausführung von physischen Aufgaben positiv beeinflussen. Wie lange ein Koordinationstraining eine verbesserte Konzentrationsleistung bewirken kann, ist noch nicht genügend erforscht (Windisch et al., 2011).

Die breit abgestützten Ergebnisse von Interventionen mit aerober, physischer Aktivität können nicht analog auf andere Interventionsformen übertragen werden. Auch wenn einige neuere Studien ähnlich positive Effekte nach Krafttraining oder Koordinationstraining nachweisen konnten. In einer Untersuchung konnte zudem der positive Einfluss einer „aktiven Pause“ auf die Aufmerksamkeit und Aufnahmefähigkeit von Schülerinnen und Schülern nachgewiesen werden (Nicolai & Woznik, 2012).

Alles in allem wurden jedoch andere Formen der physischen Aktivität in der Diskussion zum Zusammenhang zwischen physischer Aktivität und Kognition wenig Beachtung geschenkt (Chang et al., 2010).

Einige Studien zeigen positive Effekte durch die Kampfkunst Tai Chi Chuan („chinesisches Schattenboxen“), wobei vermutet wurde, dass die aufmerksame Körperkontrolle eine wichtige Rolle spielt (Chang et al., 2010) wie dies auch bei einem Gleichgewichtstraining der Fall ist. Das Gleichgewichtstraining hat im Vergleich zum Tai Chi den Vorteil, dass es einfach, jederzeit, fast überall und auch bei begrenzten Platzverhältnissen durchgeführt werden kann.

Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Untersuchung der Einfluss eines kurzzeitigen Gleichgewichtstrainings einerseits auf die Retention einer gelernten, visuo-motorischen Aufgabe untersucht, und andererseits wird der Einfluss des Trainings bei den Probanden auf die Ergebnisse von zwei ausgewählten kognitiven Tests evaluiert. Die Resultate werden intra-individuell sowie im Vergleich mit einer Kontrollgruppe (ohne begleitendes Gleichgewichtstraining) untersucht.

Durch das Gleichgewichtstraining konnten in verschiedenen Studien positive Trainingseffekte in verschiedenen Bereichen nachgewiesen werden. So hat Gleichgewichtstraining nachweislich einen positiven Einfluss auf die Haltung, Explosiv-

und Sprungkraft einer Person (Taube, 2012). Studien haben zudem gezeigt, dass das Gleichgewicht in allen Lebensabschnitten trainierbar ist (Granacher et al., 2006).

Die vorliegende Untersuchung soll Hinweise dafür liefern, ob und inwiefern ein kurzeitiges Gleichgewichtstraining die Leistungsfähigkeit bei einer visuo-motorischen Genauigkeitsaufgabe und bei zwei ausgewählten kognitiven Tests beeinflussen und/oder verbessern kann. Es handelt sich um ein kurzeitiges Gleichgewichtstraining das ca. innerhalb von 1 – 1 1/2 Stunden in vier Trainingssequenzen durchgeführt wurde.

2.2. Hintergrund und Stand des Wissens

2.2.1. Kognition

Die kognitive Psychologie hat zum Ziel, die mentalen Prozesse des Menschen zu erforschen. Ihr Bestreben besteht darin, Funktionen des menschlichen Denkens und Handelns genauer zu untersuchen und zu verstehen.

Zu den kognitiven Leistungen zählen die Wahrnehmung, das Verstehen, das Erkennen, die Aufmerksamkeit und das Gedächtnis (Engelkamp & Zimmer, 2006). Etwas allgemeiner ausgedrückt interessiert sich die kognitive Psychologie dafür, wie der Geist des Menschen funktioniert. Das bedeutet beispielsweise dem auf den Grund zu gehen, wie es möglich ist, Treppenstufen auch im Halbdunkel wahrzunehmen oder bei schlechter Sicht Gegenstände zu erkennen.

Hinter scheinbar einfachen Leistungen verbergen sich oftmals komplexe Prozesse, dies wird spätestens sichtbar, wenn es aus irgendeinem Grund nicht mehr möglich ist, diese Leistungen zu erbringen.

Die Fähigkeiten des Menschen lassen sich in unterschiedliche Kategorien einteilen. Gebräuchlich ist eine Unterteilung in folgende Klassen (Schönpflug, 2006):

- *Kognitive (geistige) Fähigkeiten*, beispielsweise kreatives und begriffliches Denken
- *Motorische Fähigkeiten*, beispielsweise Zweihandkoordination, Handgeschick
- *Sensorische Fähigkeiten*, beispielsweise Sehschärfe und Wahrnehmungsfähigkeit
- *Soziale Fähigkeiten*, beispielsweise Führungsqualität
- *Fähigkeiten zur Selbstkontrolle*, beispielsweise Beherrschung von Emotionen

Bei kognitiven Fähigkeiten und Leistungen handelt es sich um ein vielschichtiges und komplexes Zusammenspiel von Können und Wissen (Engelkamp & Zimmer, 2006). Automatische Prozesse laufen meist ohne Intention ab und werden nicht bewusst wahrgenommen.

Im Gegensatz dazu stehen die kontrollierten Verarbeitungsprozesse: Sie sind intentional und werden bewusst wahrgenommen. Das Bewusstsein des Menschen ist begrenzt, aus diesem Grund sind diese Prozesse störfähig (Engelkamp & Zimmer, 2006).

Die Aufmerksamkeit ist ein weiteres, sehr komplexes Thema der kognitiven Psychologie. Der Mensch ist in der Lage, die Aufmerksamkeit nur selektiv für bestimmte Reize anzuwenden und andere Reize zu ignorieren. So lautet eine der zentralen Fragen in der Erforschung der Aufmerksamkeit, wie der Mensch aus der Fülle der Reize eine Auswahl

trifft – einerseits bei der Bearbeitung und andererseits bei der Bewusstwerdung von Reizen (Engelkamp & Zimmer, 2006).

Das Thema Aufmerksamkeit wurde schon verschiedentlich untersucht und verschiedene Theorien und Paradigmen wurden erstellt.

Treisman (1982) erarbeitete die Konzeption der Merkmalsintegrationstheorie (MIT). Bei der visuellen Suche muss ein Reiz in der Menge von anderen Reizen entdeckt werden. Nach Treisman's Theorie verhält es sich so, dass – im Falle wenn ein Reiz durch ein einziges Merkmal definiert ist – die Entdeckung automatisch gelingt. Wenn jedoch der Reiz in Kombination von verschiedenen Merkmalen definiert ist und sich nur teilweise von den anderen Reizen unterscheidet, so ist für die Entdeckung Aufmerksamkeit nötig. Die hierfür benötigte Zeit steigt mit der Anzahl von Kontextreizen. Dabei verschiebt sich die Aufmerksamkeit und analysiert die unterschiedlichen Merkmale (Treisman, 1982). Es hat sich jedoch gezeigt, dass komplexe Reize, wenn sie durch Merkmalskombinationen definiert sind – wie beispielsweise einen Vogel oder einen Baum – automatisch entdeckt werden können, ohne dass die Zuwendung von Aufmerksamkeit notwendig ist. Dies gilt vor allem dann, wenn die Reize genügend vertraut sind (Engelkamp & Zimmer, 2006). Diesbezüglich hat Treisman zu einem späteren Zeitpunkt ihre Theorie etwas modifiziert. Andere Autoren wie Hoffmann (1993) sehen die Selektionsprozesse als ein wichtiges Mittel um ein zielführendes Verhalten zu sichern.

Durch zahlreiche und sehr unterschiedliche Testverfahren ist die experimentelle Psychologie bestrebt, die kognitiven Funktionen des Menschen möglichst objektiv zu messen. Dabei handelt es sich um standardisierte und validierte Messverfahren. Solche Testverfahren sind im Voraus festgelegt bezüglich ihres Materials, ihres Ablaufs, ihrer Auswertung und ihrer Bewertung. Die objektiven Verfahren sind den subjektiven Verfahren überlegen, jedoch ist kein Testverfahren unfehlbar (Schönpflug, 2006). Bezüglich Leistungstests gibt es vor allem für das Sehen und das Hören erprobte Prüfverfahren. Reize zu trennen und zu unterscheiden sind nach Schönpflug (2006) elementare Sinnesleistungen von komplexen Wahrnehmungsleistungen.

Die klassischen Intelligenztests gehören zu den bekanntesten Arbeitsmitteln um die kognitive Leistungsfähigkeit zu evaluieren. In der Regel bestimmen diese die geistigen Fähigkeiten in einem engeren Sinn. Es bestehen jedoch mehrere und unterschiedliche Auffassungen über Intelligenzstrukturen und -dimensionen (Schönpflug, 2006).

2.2.2. Bewegung und Handlung

Neben der kognitiven Leistung, Reize zu erkennen und darüber nachzudenken oder Reize wie Wörter, geometrische Objekte und Formen zu erfassen, ist ein wichtiger Bestandteil, Verhaltensziele erreichen zu können. Das heisst, Informationen werden soweit verarbeitet, dass damit möglichst Verhaltensziele erreicht werden können (Engelkamp & Zimmer, 2006).

Allgemein formuliert fördert das differentielle Lernen die Fähigkeit des menschlichen Gehirns zur Interpolarität. Eine hohe Variabilität im Lernprozess bieten neue Situationen mit hoher Erfolgsunsicherheit (Engelkamp & Zimmer, 2006).

Neuere Erkenntnisse in den Neurowissenschaften ermöglichen einen Einblick in die Art und Weise, wie die Aneignung und das Erlernen motorischer Fähigkeiten im Gehirn ablaufen. Sie ermöglichen zunehmend einen Aufschluss darüber, welche Vorgänge und Prozesse im Gehirn ablaufen und den Erwerb von motorischen Fähigkeiten begleiten und das motorische Lernen beeinflussen. So gehen Beck & Wagner-Hans (2012) davon aus, dass dem Botenstoff Dopamin als einem von verschiedenen Botenstoffen, die eine Kommunikation unter den Neuronen ermöglichen, eine bedeutende Rolle zukommt.

Das Lernen und der Vollzug von Bewegungen basiert auf der Kommunikation zwischen den Basalganglien und den kortikalen Gehirnregionen. Über multisynaptische Schleifen stehen diese in engem Kontakt miteinander. Das Gehirn wird – innerhalb von gewissen Grenzen – als plastisch betrachtet und neue Verbindungen können entstehen. Die Plastizität wurde auf verschiedenen Ebenen beobachtet. Das bedeutet, dass bezüglich „Lernen“ vieles möglich ist - und dies nicht nur im Kinder- und Jugendalter. Veränderungen, die auf System- und Verhaltensebene auftreten können, bedingen sich dabei gegenseitig (Beck & Wagner-Hans, 2012). Durch sportliches Training und Üben können sich die Bewegungsrepräsentationen verändern.

Die Basalganglien und das Kleinhirn spielen bei allen Bewegungen eine wichtige Rolle. Bei einer Feedforward-Bewegung wird die Bewegung im Voraus programmiert, das heisst, dass allfällige Konsequenzen antizipiert werden. Zum Thema Gleichgewicht und Gleichgewichtstraining geht Taube (2012) davon aus, dass eine wahrscheinliche Erklärung, warum ein verbessertes Gleichgewicht nachweislich eine Reduktion der Knie- und Sprungverletzungen zur Folge hat, der Feedforward-Mechanismus ist. Das heisst, dass allfällige Konsequenzen bei der Ausführung einer Bewegung besser antizipiert und darauf allenfalls noch reagiert werden kann.

Bei einer Closed-Loop-Bewegung hat der Mensch nach Adams (1987) genügend Zeit um die Bewegung anzupassen, da das Feedback noch integriert werden kann. Bei einer Open-Loop-Bewegung kann dieses nicht eingebaut werden und man kann die Bewegung nicht mehr abbrechen.

Das Lernen von schnellen Bewegungen beruht auf dem Abgleich beabsichtigter und tatsächlicher Resultate (Feedback). Schnelle Bewegungen können jedoch nicht immer bewusst kontrolliert werden, das bedeutet, dass ein Feedback nicht mehr integriert werden kann.

Für zahlreiche und unterschiedliche Bewegungen im Alltag und bei sportlichen Betätigungen spielt das Gleichgewicht eine wichtige Rolle. Eine Verbesserung des Gleichgewichts kann sich auf verschiedene Parameter positiv auswirken, darauf wird im folgenden Kapitel eingegangen.

2.2.3. Gleichgewicht

Der Mensch gilt als das einzige Säugetier, das sich einen bipedalen Stand und Gang angeeignet hat. Ein hoher Körperschwerpunkt muss über eine verhältnismässig kleine Unterstützungsfläche ausbalanciert werden. Die zugrundeliegenden neuronalen Anpassungsreaktionen, die im Zusammenhang mit der Fortbewegung und der bipedalen Haltung stehen, sind bisher ungenügend erforscht (Taube, 2012).

Die Gleichgewichtsfähigkeit unterliegt im Laufe des Lebens erheblichen Schwankungen. Das selbstständige Gehen erlernen kleine Kinder ungefähr im Alter von einem Jahr. Bis beim Kind Gleichgewichtsstrategien ausgebildet sind, die den Erwachsenen ähnlich sind, dauert es zusätzlich ungefähr weitere sechs Jahre. Mit zunehmender Reifung des Kindes beziehungsweise des Jugendlichen findet eine stetige Verbesserung der posturalen Kontrolle statt. Mit ansteigendem Alter des erwachsenen Menschen nimmt jedoch die Gleichgewichtsfähigkeit wieder ab. Jene Abnahme der Gleichgewichtskapazität ist unter anderem abhängig von der physischen Aktivität.

Studien konnten zeigen, dass die Gleichgewichtsfähigkeit in jedem Lebensabschnitt trainier- und somit auch verbesserbar ist (Granacher et al., 2006).

Was ein Training zur Verbesserung der posturalen Kontrolle beinhaltet, darüber gibt es keine einheitliche Definition. Nach Taube (2012) beschreibt der Ausdruck „Gleichgewichtstraining“ diese Trainingsform am besten. Dies aus dem Grund, da dieser Begriff nicht körperinterne Vorgänge beschreibt, sondern sich auf die Bewegungsaufgabe

bezieht. Diese Aufgabe besteht darin, das Gleichgewicht aufrechtzuerhalten, beziehungsweise dieses durch Übung und Training zu verbessern.

In zahlreichen Gleichgewichtstrainings und -interventionen wird das Training mit einer Auswahl von unterschiedlichen Trainingsgeräten durchgeführt. Dabei kann es sich um Wackelbretter, Kipp-Kreiseln, frei schwingende Plattformen, Kissen, Matten oder Ähnlichem handeln. Zurzeit gibt es noch keine Richtlinien über die optimale Intensität und Dauer der Übungen eines Gleichgewichtstrainings. Aus diesem Grund gibt es grosse Unterschiede von Studie zu Studie hinsichtlich der Trainingsformen und -übungen (Taube, 2012).

Das Gleichgewichtstraining hat einen positiven Einfluss auf die Gleichgewichtskapazität, sowie auf das Ausführen von anderen Bewegungsaufgaben (Taube et al., 2007). Es führt zu plastischen Veränderungen im zentralen Nervensystem. Gleichgewichtstraining verbessert die motorische Leistung hinsichtlich Explosivkraft und Sprungkraft (Taube et al., 2007). Zudem konnte gezeigt werden, dass die Verletzungsinzidenz durch Gleichgewichtstraining für Ballsportarten erheblich verringert werden kann (Hübscher et al., 2010). Diese Erkenntnisse sind wichtig für die Behandlung von Patienten, älteren Menschen sowie für die Arbeit mit Athleten.

Um das Gleichgewicht aufrechtzuerhalten, findet auf verschiedenen Stufen des zentralen Nervensystems eine Integration von sensorischer Information statt. Darauf basierend initiieren die motorischen Areale passende Reaktionen (Taube, 2012).

Die neurophysiologischen Adaptionen, herbeigeführt durch das Gleichgewichtstraining, haben Anpassungen beim motorischen Verhalten beim Probanden oder beim Athleten zur Folge.

Das sensomotorische System, vor allem die spinalen und die supraspinalen Strukturen, scheinen plastisch zu sein. Die Relevanz des Gleichgewichtstrainings wird unterstrichen durch verbesserte sportliche Leistungen, verbesserte Haltungskontrolle bei älteren Menschen, sowie durch gute Ergebnisse in der Verletzungsprävention und in der Rehabilitation (Taube et al., 2008). Mittels Studien bei erwachsenen Probanden konnte zudem nachgewiesen werden, dass das Balancieren auf unstabilem Untergrund neuronale Anpassungen herbeiführen kann. Dies bewirkt längerfristig eine neuronale Plastizität von spinalen und supraspinalen Strukturen im Bereich des zentralen Nervensystems (Taube et al., 2007).

Nicht-invasive elektrophysiologische Methoden konnten Hinweise liefern, dass neuronale Anpassungen durch Gleichgewichtstraining erreicht werden können (Taube et al., 2008).

Bis jetzt ist relativ wenig bekannt über die Plastizität des Kleinhirns und der subkortikalen Gehirnregionen bezüglich Gleichgewichtstraining (Taube et al., 2008). Die Autoren vermuten, dass bei Beginn des Gleichgewichtstrainings die Gehirnaktivität im kortikalen Bereich dominant ist und die Fortdauer des Gleichgewichtstrainings eine Abnahme der kortikalen Aktivität sowie eine verstärkte Aktivität und eine zunehmend wichtigere Funktion der subkortikalen Regionen (Basalganglien und Kleinhirn) zur Folge haben (vgl. Abb. 1). Taube et al. (2008) folgern anhand der Resultate nach einem 4-wöchigen Gleichgewichtstraining, dass sich der Beitrag der subkortikalen Zentren mit der Zeit zur Bewegungskontrolle erhöht. Für die Verbesserung der Standstabilität scheinen vor allem supraspinale Anpassungen verantwortlich zu sein (Taube et al., 2007).

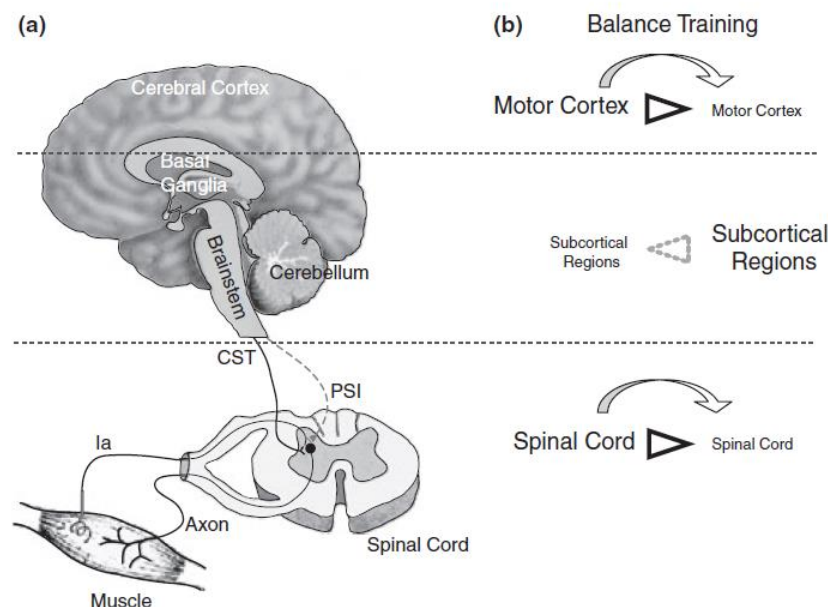


Abb. 1 : Vereinfachte Darstellung der Anpassungen durch Gleichgewichtstraining von Taube et al. (2008, S. 111). a) Strukturen des Nervensystems, die für das Gleichgewicht eine wichtige Rolle spielen. b) Veränderte Aktivität durch mehr Gleichgewichtstraining: Ein erhöhter Gebrauch der subkortikalen Regionen und ein verminderter Gebrauch des Motor Cortex und des Rückenmarks.

Zahlreiche prospektive Studien belegen die präventive Wirkung von Gleichgewichtstraining. Es kann als gesichert angesehen werden, dass die Prävalenz von Knie- und Sprungverletzungen durch Gleichgewichtstraining um ca. 50 % reduziert werden kann. Über Mechanismen, die jene Reduktion zur Folge haben, ist noch relativ

wenig bekannt. Taube (2012) geht davon aus, dass ein Feedforward-Mechanismus eine wahrscheinliche Erklärung ist.

Es wird angenommen, dass Personen, die postural gut trainiert sind, über eine allgemein verbesserte und optimierte Bewegungsausführung verfügen als postural schlecht trainierte Personen. Eine verbesserte Bewegungsausführung ist ausserdem eine gute Prävention davor, dass risikoreiche Gelenkpositionen eingenommen werden (Taube, 2012).

2.2.4. Einfluss der physischen Aktivität auf kognitive Leistungen

Dass die sportliche Betätigung und die physische Aktivität einen positiven Einfluss auf unterschiedliche Faktoren der Gesundheit des Menschen haben ist bekannt und durch verschiedene Studien dokumentiert: Durch die körperliche Aktivität können degenerative Krankheiten verhindert oder hinausgezögert werden. Neben kardiovaskulären Auswirkungen von körperlicher Betätigung, wie beispielsweise die Reduktion des Risikos für kardiovaskuläre Krankheiten, Hirnschlag, Diabetes und Hypertension (McAuley et al., 2004) verweisen neuere, auch verhaltensbiologische Studien mit gesunden Probanden vermehrt auf einen positiven Einfluss von sportlicher Betätigung und Bewegung auf die mentale Gesundheit des Menschen (Dietrich, 2006).

Der positive Einfluss von Sport und Bewegung, wie die Förderung des allgemeinen Wohlbefindens und die Förderung von kognitiver und physischer Leistungsfähigkeit, rücken hierbei vermehrt ins Zentrum des Interesses (Dietrich, 2006). Körperliche Aktivität im mittleren Intensitätsbereich kann eine Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit beim Menschen zur Folge haben (Wegner et al., 2012).

Die Debatte um einen möglichen Zusammenhang zwischen aerober Fitness und kognitiver Leistungsfähigkeit wurde unter anderem auch dadurch angeregt, weil eine zunehmende Abnahme aerober Fitness bei Kindern festzustellen ist. Zugleich herrscht an Schulen für die Kinder und Jugendliche ein hoher und konstanter Druck, und man ist bestrebt, die kognitiven Leistungen der Kinder stetig zu steigern (Niederer et al., 2011).

Es gilt diesbezüglich zu vermerken, dass Kognition an sich ein sehr weitreichender Begriff ist, wie in Kapitel 2.2.1. zusammengefasst aufgezeigt wurde. Zudem ist die Vergleichbarkeit der einzelnen Studien eingeschränkt, da in den Untersuchungen teilweise sehr unterschiedliche Tests zur Überprüfung der kognitiven Funktionen Anwendung

finden, unterschiedliche Protokolle verwendet werden und in den einzelnen Studien nur Teilbereiche der Kognition miteinbezogen und getestet werden.

Zahlreiche andere Faktoren können jene grundlegenden Funktionen des Menschen ebenso beeinflussen und modifizieren. In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus auf dem Einfluss der körperlichen Aktivität (Gleichgewichtstraining) auf das motorische Lernen und auf Bereiche der Kognition.

In Untersuchungen mit Menschen werden die kognitiven Fähigkeiten meist mit kognitiven Tests (paper-pencil oder computer-based) durchgeführt – bei einigen neueren Untersuchungen wurden auch neuroimaginäre Techniken wie MRI oder ERP verwendet. Diese neurologischen Messverfahren wurden bei Tieren schon etwas früher eingesetzt. Erkenntnisse mit Hilfe dieser Messverfahren können in Zukunft sehr wertvoll sein für aktuelle und gesellschaftsrelevante Gesundheitsfragen (Hillman et al., 2008).

Die Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen physischer Aktivität und Kognition begannen in den Jahren 1930. In den darauffolgenden Jahrzehnten konnten in einigen, jedoch nicht in allen Untersuchungen eine positive Beziehung zwischen physischer Aktivität und schnellerer Reaktionszeit beobachtet werden (Pierson & Montoye, 1958).

Die ersten systematischen Untersuchungen wurden in den Jahren um 1970 durchgeführt, wobei in erster Linie bei älteren Menschen positive Effekte durch regelmässige, physische Aktivität nachgewiesen wurden. Bei jungen Probanden konnten bis dahin keine solche Effekte gefunden werden (Spirduso, 1980). Verschiedene Studien zeigten, dass vor allem akute körperliche Belastung im Bereich der mittleren Intensität die kognitiven Leistungen verbessert. In unterschiedlichen Disziplinen wurden positive Effekte auf selektive Aspekte der Gehirnfunktionen gefunden (Hillman et al., 2008). Nachfolgend wird eine Auswahl von unterschiedlichen Studien zu diesem Themenbereich vorgestellt.

Zuerst werden einige Untersuchungen vorgestellt, die durch vorwiegend akute Trainings akute Effekte nachweisen konnten, danach folgen einige Längsschnittstudien sowie am Schluss eine Übersicht über die Auswirkungen der Praktizierung von Tai Chi, das dem Gleichgewichtstraining in einigen Punkten ähnlich ist.

Hillman et al. (2009) konnten in einer Untersuchung zeigen, dass zwanzig 9 - 10 jährige Kinder nach einem akuten Training (Walking) auf dem Laufband bei mittlerer Intensität von ca. 65 % VO_{2max} in kognitiven Tests bessere Leistungen erbrachten als nach einer Ruhebedingung. Wegner et al. (2012) gehen davon aus, dass die kognitive Leistungsfähigkeit in erster Linie bei Kindern und Jugendlichen durch sportliche Aktivität gefördert werden kann.

Eine aktuelle Studie von Roig et al. (2012) konnte positive Effekte durch ein einmaliges, akutes Radfahrtraining nachweisen. Ein hochintensives Radtraining, vor oder nachdem eine motorische Aufgabe geübt wurde, bewirkte bei den Probanden eine Verbesserung bei der Langzeit-Speicherung (Konsolidierung) der Lernaufgabe. Die Studie bezog sich explizit auf die Untersuchung der Wirkung von einem intensiven Training auf das *motorische Gedächtnis*.

Die Probanden wurden im Rahmen der Untersuchung aufgefordert, ein intensives Intervalltraining auf dem Ergometer durchzuführen (2 Minuten Aufwärmen, 3 x 3 Minuten hohe Intensität im Wechsel mit 3 x 2 Minuten geringe Intensität, während den letzten 3 Minuten des Trainings konnten sich die Probanden erholen – dies ergibt eine Trainingszeit von insgesamt 20 Minuten). Bei den Probanden wurden Puls, Laktatwerte sowie die subjektive Einschätzung der Intensität (mit Hilfe der Borg-Skala) erhoben. Um eine genügend hohe Intensität zu gewährleisten musste der Laktatwert beim Training grösser als 10 mmol/l sein.

Beim Aneignen der Aufgabe konnten keine Verbesserung durch ein einzelnes begleitendes Training festgestellt werden: Es zeigte sich kein Unterschied zwischen den Gruppen.

Signifikante Effekte zeigten sich bei der Konsolidierung der Lernaufgabe. Beim Wiederholen der Aufgabe (24 h und 2 Tage danach) konnten bei der „aktiven Gruppe“ signifikant bessere Leistungen ($p < 0.001$) nachgewiesen werden (Roig et al., 2012). Die positiven Effekte des intensiven Trainings waren am stärksten, wenn dieses sofort *nach* dem Lernen der motorischen Aufgabe, das heisst im frühen Stadium der Konsolidierung der motorischen Lernaufgabe, durchgeführt wurde. Auf Abb. 2 von Roig et al. (2012) ist der Vergleich der drei Gruppen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten zu sehen.

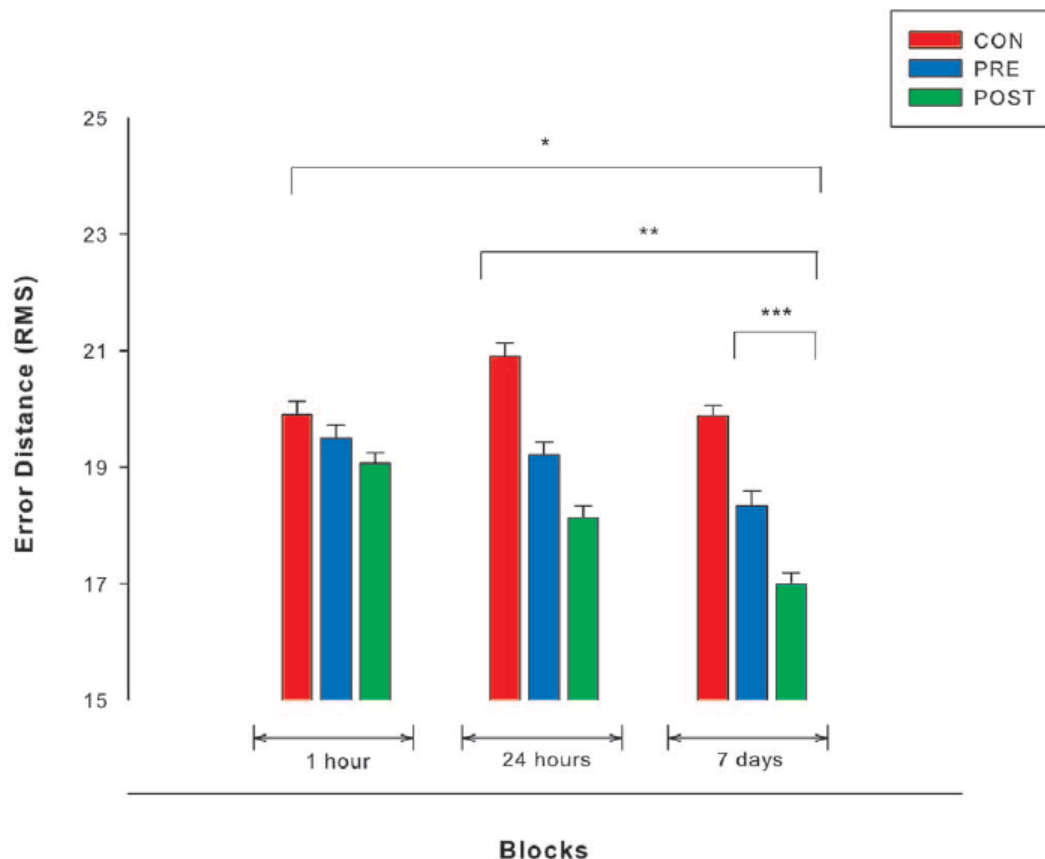


Abb. 2 : Messungen bei der Kontrollgruppe (CON), jener Gruppe die das Training vor dem Erlernen der motorischen Aufgabe durchführte (PRE) und jene, die es direkt danach durchführte (POST). Bei allen Messungen erreichten die Probanden der POST-Gruppe die geringste Fehlerdistanz zur Soll - Kurve (Error – Distance). Die PRE- und POST-Gruppen zeigten eine signifikant bessere Retentionleistung als die Kontrollgruppe nach 24 Std. und nach 7 Tagen ($p < 0.001$). Zudem zeigte die POST – Gruppe beim Retention - Test nach 7 Tagen eine bessere Leistung ($p < 0.001$).

Die Autoren weisen in ihrer Studie darauf hin, dass diese Resultate wichtige, praktische Relevanz haben: Solche Interventionen können helfen, den Lerneffekt beim Üben und Erlernen einer motorischen Lernaufgabe zu verstärken und die Konsolidierung zu verbessern, dies ist von Wichtigkeit für den (Spitzen-) Sport und für die Rehabilitation.

In einer Untersuchung von Völkel & Hennig (2012) mit jungen Sportstudenten konnte ein positiver Einfluss einer Gesamtkörper-Vibration auf die motorischen Leistung gezeigt werden: Die Präzision der Hand-Koordinationsaufgabe verbesserte sich statistisch signifikant bei einer Ganzkörper-Vibration von 5 Hz.

Die Ganzkörper-Vibration hatte jedoch keine Leistungsverbesserung der Probanden in Aufmerksamkeits- und Kognitionstests zur Folge (gemessen durch d2, Stroop und Trail Making Test).

Laut Tomporowski (2003) tritt eine Verbesserung nach (akuter) körperlicher Belastung ab der Intensität von ungefähr 40 % der VO_{2max} ein. Bei einer Intensität von ungefähr 85 % der VO_{2max} kommt es hingegen zu einer Verschlechterung der kognitiven Leistung. Demnach sind nach einer akuten, langandauernden körperlichen Belastung oberhalb der anaeroben Schwelle eine Verschlechterung der kognitiven Leistungen zu erwarten (Lambourne & Tomporowski, 2010). Der Zusammenhang zwischen aerober Belastungsintensität und Kognitionsleistung kann laut Tomporowski (2003) als umgedreht U-förmiger Zusammenhang angesehen und definiert werden.

Bei einer Untersuchung mit Schülerinnen und Schülern (N = 151) wurde der Einfluss einer aktiven Pausengestaltung in der Schule untersucht (in der aktiven Pause wurde 8 Minuten Tae Bo, Fitnessgymnastik mit ausgewählten Elementen aus asiatischen Kampfsportarten, durchgeführt).

Diese gezielte Bewegungsgestaltung bei Sekundarstufe II-Schülerinnen und Schülern führte in dieser Studie zu einer signifikanten Verbesserung der exekutiven Funktionen, das heisst, dass sich unter anderem die Aufmerksamkeitssteuerung, die Impulskontrolle und die emotionale Regulation verbesserten. Die Autoren Nicolai & Woznik (2012) schlussfolgern daraus, dass es gerade bei jugendlichen Schülern wichtig ist, eine bewegte Pause durchzuführen und dass dies die Aufnahmekapazität für die nachfolgenden Schulstunden verbessern kann. Bei jüngeren Schülern (ca. 11 – 12 jährig) konnte durch dasselbe Pausentraining kein positiver Effekt im Vergleich mit einer Kontrollgruppe gefunden werden. Die Autoren sehen eine möglich Begründung dieses Unterschieds darin, dass bei jüngeren Kindern das natürliche Bewegungsbedürfnis gross ist und nur Wenige „freiwillig“ in den Pausen körperlich inaktiv sind: Sie toben und rennen auf natürliche Weise umher. Mit der Pubertät ändert sich das Verhalten in der Pause sichtbar – die Bewegungsaktivitäten nehmen Schritt für Schritt ab (Nicolai & Woznik, 2012).

In dieser Studie wurden die Schülerinnen und Schüler zusätzlich mittels Fragebogen befragt, wie sie sich nach den bewegten Pausen fühlten. 65.9 % der Schüler, die dieses Training durchgeführt hatten, gaben an, dass sie sich nach der 8 minütigen, bewegten Pause „fit, motiviert und aktiviert“ fühlten. 35.9 % kreuzten an, dass sie – nach eigener Einschätzung – eine Zunahme der Aufnahmefunktion bemerken konnten. Laut den durchgeführten Tests war diese Steigerung der Aufmerksamkeit bei den Schülern noch höher, nämlich fast bei 80 %.

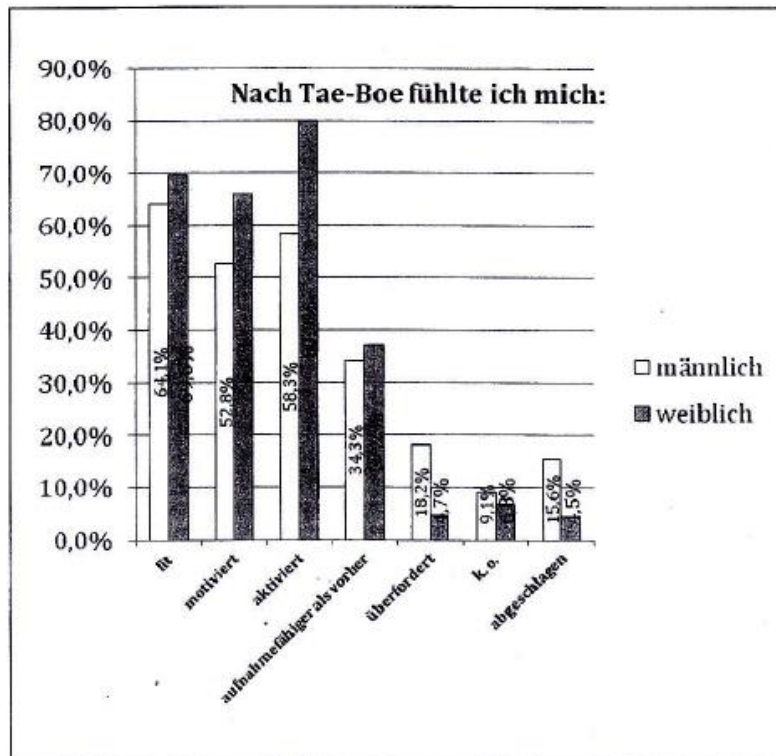


Abb. 3: Auswertung des Fragebogens über das Befinden nach einer „bewegten Pause“ (Tae Bo) bei den Schülerinnen und Schülern (Nicolai & Woznik, 2012, S. 333).

Die positiven Effekte zeigten sich unabhängig des Geschlechts. Bei Jungen und bei Mädchen kann eine erhöhte Aufmerksamkeit zu besseren Lernvoraussetzungen beim nachfolgenden Unterricht führen (Nicolai & Woznik, 2012).

In einer weiteren Studie wurde der Einfluss einer 10 minütigen Schulsporeinheit auf die Konzentrationsleistung von Schülern (im Alter von 13 – 16 Jahren) von Budde et al. (2008) untersucht. Die Konzentrations- und die Aufmerksamkeitsleistung wurde mit dem d2-Test evaluiert. Die Schülerinnen und Schüler stammten aus einer Sporteliteschule. Die 150 gesunden adoleszenten Probanden wurden in eine Koordinationstrainingsgruppe- und in eine Kontrollgruppe eingeteilt.

Ein Pre-Test (d2) wurde nach einer normalen Schullektion durchgeführt. Der Post-Test erfolgte nach einem 10 minütigen Koordinationstraining für die eine Gruppe und nach einer normalen Sportlektion für die andere Gruppe (Kontrollgruppe). Beide Gruppen konnten sich signifikant verbessern, wobei die Schülerinnen und Schüler, die in der Trainingsgruppe eingeteilt waren, eine grössere Steigerung erreichen konnten, wie aus der nachfolgenden Abbildung 4 zu sehen ist:

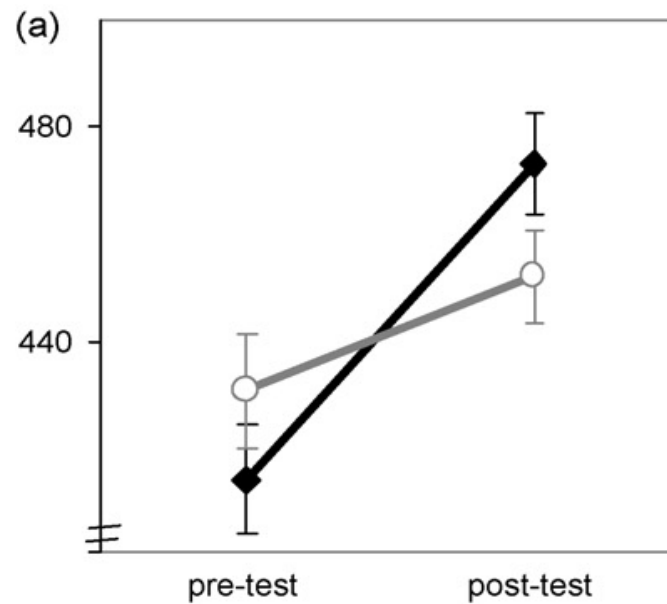


Abb. 4: Gesamtzahl der bearbeiteten Items beim d2-Test bei der Trainingsgruppe (= schwarze Linie) und bei der Kontrollgruppe (= graue Linie) (Budde et al., 2008, S. 221).

Demzufolge scheinen kurze, gezielte koordinative Bewegungseinheiten die Konzentration und die Aufmerksamkeit kurzzeitig stärker zu fördern als einer Sportstunde ohne koordinativen Fokus (Budde et al., 2008).

Auch die Anzahl der Fehler (in %) der bearbeiteten Items hat bei der Koordinationstrainingsgruppe stärker abgenommen, als bei den Probanden der Kontrollgruppe, wie auf der Abb. 5. zu sehen ist. Dabei gilt zu vermerken, dass das Ausgangsniveau der Trainingsgruppe beim Pre-Test schlechter war.

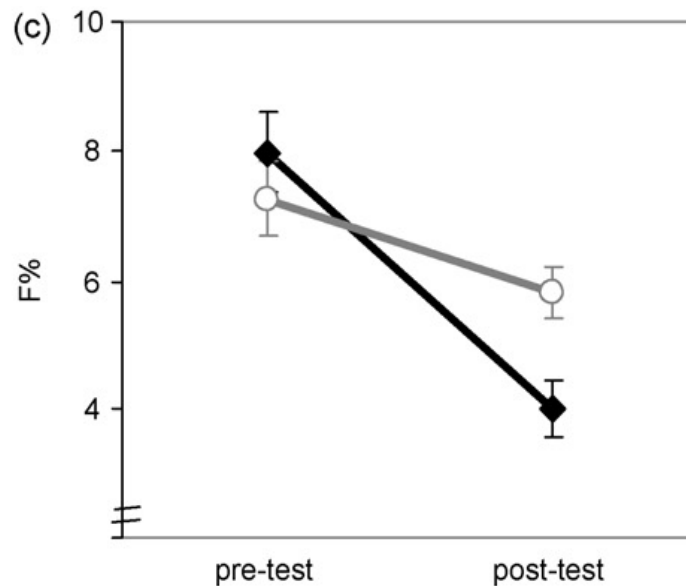


Abb. 5: Anzahl der Fehler in % beim d2 – Test bei der Trainingsgruppe (= schwarze Linie) und bei der Kontrollgruppe (= graue Linie) (Budde et al., 2008, S. 221).

Wie lange sich diese positiven Effekte auf die Konzentrationsleistung auswirken, ist jedoch noch nicht genügend erforscht (Windisch et al., 2011).

In einer Metaanalyse vom Jahr 2006 konnte bei 4 – 18 jährigen Kindern/Jugendlichen eine (schwache) positive Korrelation zwischen physischer Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit gefunden werden, dies mit einer Effektstärke von $ES = 0.32$, was einem geringen Effekt entspricht (Sibley & Etnier, 2003).

In einer anderen Metaanalyse von Etnier et al. (1997), die den Zusammenhang von körperlicher Aktivität und kognitiven Fähigkeiten bei Erwachsenen untersuchte, fiel die Korrelation mit einer Effektgrösse von $ES = .25$ (= geringer Effekt) noch etwas geringer aus. So kann gesagt werden, dass laut diesen beiden Metaanalysen (Sibley & Etnier, 2003; Etnier et al., 1997), die die Resultate von zahlreichen, verschiedenen Studien zusammenfassen, ein geringer positiver Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und der kognitiven Leistungsfähigkeit bei Jugendlichen als auch bei Erwachsenen besteht.

In einer Metaanalyse von Colcombe & Kramer (2003), bei der Studien von 1966 bis 2001 eingeschlossen und analysiert wurden, konnte eine signifikante Korrelation von aerober Fitness und kognitiven Fähigkeiten bei älteren Menschen gefunden werden ($ES = 0.48$ = mittlerer Effekt). Bei dieser Altersgruppe ist der nachgewiesene Effekt also etwas stärker.

In jener Metaanalyse konnte ein besonders positiver Einfluss von erhöhter physischer Aktivität (aerobe Fitness) auf die exekutiven Gehirnfunktionen (kognitive Prozesse, die der zielgerichteten Handlungssteuerung und der Selbstregulation dienen) bei älteren Menschen nachgewiesen werden. Es konnte eine wesentlich stärkere Leistungssteigerung (höhere Effektstärke) im Vergleich zu Kontrollgruppen nachgewiesen werden, wie auf Abb. 6 ersichtlich ist (Colcombe & Kramer, 2003):

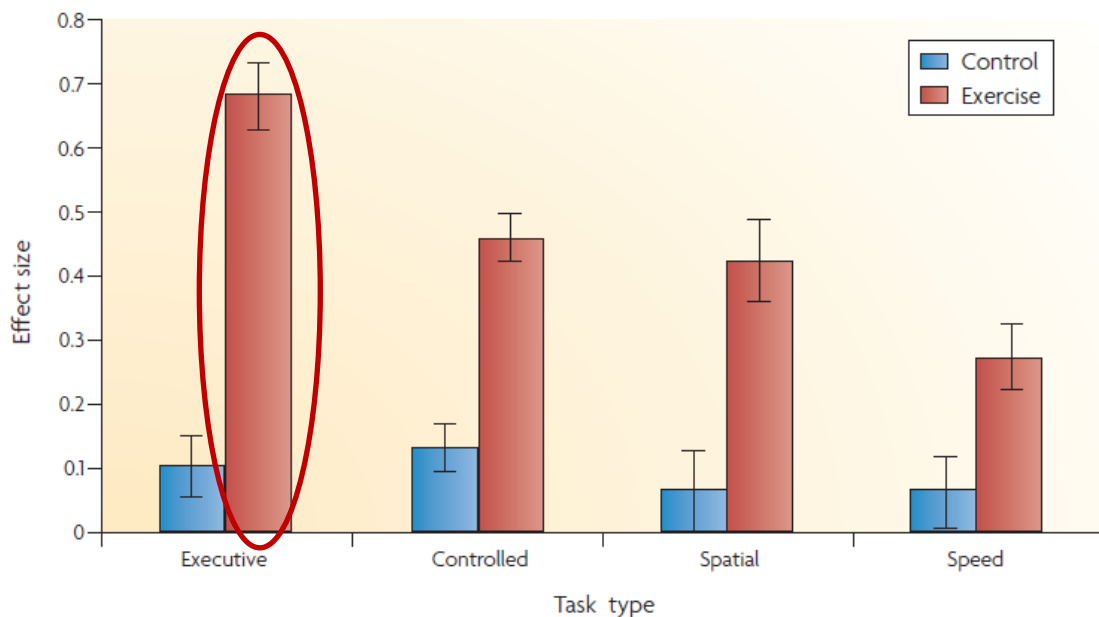


Abb. 6: Metaanalyse zum Einfluss von aerober Fitness auf die kognitiven Funktionen bei älteren Menschen im Vergleich mit Kontrollgruppen (Colcombe & Kramer, 2003, zitiert nach Hillman et al., 2008, S. 60).

Die Autoren betonen, dass eine Vielzahl von anderen Faktoren und Einflüssen in die Beziehung zwischen Fitness und Kognition miteinspielen und diese ebenso beeinflussen. Nach dieser Analyse von verschiedenen Studien kamen sie zum Schluss, dass Frauen hinsichtlich der kognitiven Leistungsfähigkeit mehr von einem Fitnesstraining profitieren als Männer.

Weiter folgerten die Autoren auf Grund der Resultate der Metaanalyse, dass eine Kombination von Kraft- und Fitnesstraining bessere und damit noch positivere Auswirkungen auf die kognitiven Funktionen bewirken, als wenn nur eine Trainingsform angewendet wird.

Colombe & Kramer (2003) betonen zudem, dass die zugrundeliegenden Mechanismen identifiziert werden müssten. Dabei sollten nach ihrer Ansicht in weiteren Studien andere

Einflüsse wie Alter, unterschiedliche Lebensstile, Unterschiede von Kultur und Rassen verstärkt miteinbezogen werden.

In einer Studie von Castelli et al. (2007) konnte eine positive Korrelation zwischen physischer Fitness und der akademischen Leistung gezeigt werden. Im Gegensatz dazu stellten die Autoren eine negative Korrelation zwischen dem BMI und der akademischen Leistungsfähigkeit fest.

Die Untersuchung wurde bei 259 adoleszenten Schülern durchgeführt. Die Autoren erwähnen auch die Limitationen der Studie, wie beispielsweise Unterschiede in Motivation, das Fehlen der Randomisierung und die Evaluation der aeroben Fitness (Leistungsfähigkeit) mittels Feldtest. Castelli et al. (2007) weisen auf die höhere Validität hin, die Labortests, beispielsweise für eine Evaluation der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit, aufweisen.

Die kognitive Leistungsfähigkeit wurde mittels Leistungstest (Mathematik und Lesen) bei den Schülern evaluiert. Jene Schüler, die eine hohe physische Fitness aufwiesen, hatten im Durchschnitt eine bessere Leistung bei den Tests erzielt. Die aerobe Fitness stand in positiver Korrelation mit den kognitiven Leistungstest und der BMI der Schüler stand in negativer Korrelation zum Abschneiden in den Leistungstests im Allgemeinen, in erster Linie beim Lesen und in Mathematik (Castelli et al., 2007).

In einer Querschnitt-Längsschnittstudie wurde der Einfluss bei kleinen Kindern (Durchschnittsalter = 5.2 Jahre) untersucht. Genauer gesagt wurde in dieser Untersuchung der Zusammenhang von aerober Fitness und dem Arbeitsgedächtnis und der Aufmerksamkeit untersucht (Niederer et al., 2011). 245 Vorschulkinder aus verschiedenen ethnischen Herkunftsländern nahmen an der Studie mit einer Nachuntersuchung nach neun Monaten teil. Die Resultate zeigten eine positive Korrelation zwischen aerober Fitness und Aufmerksamkeit. Eine kürzere Reaktionszeit im Agility-Test korrelierte mit dem kognitiven Test, der die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses überprüfte. Das heisst, eine kürzere Zeit im Agility-Test ist hatte eine bessere Leistung im Leistungstest ($r = -0.17$, $p < 0.01$) sowie beim Aufmerksamkeitstest ($r = -0.20$, $p < 0.01$) zur Folge (Niederer et al., 2011).

Was die Resultate im Vergleich in der Messung nach neun Monaten angeht, so zeigte sich in der Analyse eine positive Korrelation zwischen aerober Fitness und den Aufmerksamkeitsleistungen ($r = 0.16$, $p < 0.03$). Die Autoren gehen davon aus, dass dies auch längerfristig zu Leistungsverbesserungen führen kann (Niederer et al., 2011).

Eine zwölfmonatige Trainingsintervention durch Krafttraining bei älteren Frauen (65 – 75-jährig) (zwei Gruppen: ein- oder zweimal wöchentlich) konnte eine signifikante Leistungssteigerung beim Stroop-Test zeigen, dies im Vergleich zur Kontrollgruppe (die Probanden der Kontrollgruppe führten Gleichgewichts- und Tonustraining durch). Jene Probanden, die während zwölf Monaten ein Krafttraining absolvierten, konnten die Leistung beim Training einmal pro Woche um 12.6 % (N = 54) und beim Training zweimal pro Woche um 10.9 % (N = 52) steigern, während die Gleichgewichtsgruppe (die als Kontrollgruppe diente) eine wesentlich geringere Leistungssteigerung um 0.5 % (N = 49) aufwies. Die Gruppenaufteilung erfolgte randomisiert (Beattie et al., 2010).

Einige Untersuchungen wurden zur chinesischen Kampfkunst Tai Chi und deren Einfluss auf die Gesundheit durchgeführt. Tai Chi wird als *die* ultimative Kampfkunst bezeichnet und wird in China seit langer Zeit zur Prävention und zur Unterstützung bei Heilungsprozessen von verschiedenen Krankheiten eingesetzt. Tai Chi Chuan ist ein wichtiger Bestandteil der chinesischen Medizin und der chinesischen Kultur. Seit ca. 40 Jahren erfreut sich Tai Chi auch in Europa immer grösserer Beliebtheit. Die Kampfkunst wird heute in Europa vor allem zur Gesunderhaltung und zur Steigerung des Wohlbefindens des Menschen praktiziert (www.taiji-europa.de).

Tai Chi enthält Elemente von Meditation, Bewusstsein für den Körper und Aufmerksamkeit der Atmung gegenüber. Das physische Aktivitätsniveau (Herz-Kreislauf) ist während dieser Trainingsform als gesamthaft niedrig einzustufen und diesbezüglich mit dem Gleichgewichtstraining vergleichbar. Beide Trainingsformen leisten einen Beitrag zur Sturzprophylaxe (Chang et al., 2010; Taube, 2012).

Nguyen & Kruse (2012) konnten in ihrer Studie nach einer sechsmonatigen Trainingsintervention durch Tai Chi im Vergleich mit einer Kontrollgruppe Verbesserungen bei älteren Menschen in den Bereichen Gleichgewicht, Schlafqualität sowie kognitive Leistungen nachweisen. Die Aussage, dass die Praktizierung von Tai Chi die Kognition verbessert ist jedoch nach Chang et al. (2010) zu wenig gesichert. Es sind experimentelle Längsschnittstudien mit kontrollierten Bedingungen nötig um dies noch fundierter zu untersuchen (Blake & Hawley, 2012).

In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass Tai Chi ähnliche Auswirkungen hat wie jene eines Gleichgewichtstrainings, wie beispielsweise Verbesserungen im „sit-and-reach-test“ (Hong & Li, 2000) sowie die Herabsetzung des Sturzrisikos (Choi & Moon, 2005).

Hierbei gilt zu ergänzen, dass die Evidenzlage bezüglich Tai Chi gering ist, wie Chang et al. (2010) in ihrem Review-Artikel zu diesem Thema hervorheben. Es besteht eine

beschränkte nachgewiesene Evidenz eines positiven Einflusses von Tai Chi auf die exekutiven Funktionen und generell für die kognitiven Funktionen, wie die Autoren zusammenfassen. Klar nachgewiesen sind hingegen positive Gesundheitseffekte als Folge der Praktizierung des Tai Chis. Diese Verbesserung von einzelnen Faktoren der Gesundheit kann indirekt auch die kognitiven Fähigkeiten beeinflussen (Chang et al., 2010).

Die Autoren resümieren, dass weitere Studien nötig sind, bei denen die Intensität und das Programm des Tai Chis detailliert beschrieben werden sollen. Tai Chi umfasst aerobe und muskuläre Aktivität und fördert die Beweglichkeit. Mittels Tai Chi konnten positive Effekte und fördernde Auswirkungen auf Gleichgewicht und motorische Kontrolle gezeigt werden (Wong & Lan, 2008). Die Autoren weisen auf untenstehendes, spekulatives Modell von Spirduso et al. (2008) hin, dass positive nachgewiesene Effekte durch die Praktizierung von Tai Chi nennt und als mögliche Auswirkung eine Verbesserung der kognitiven Funktionen des Menschen zur Folge haben kann:

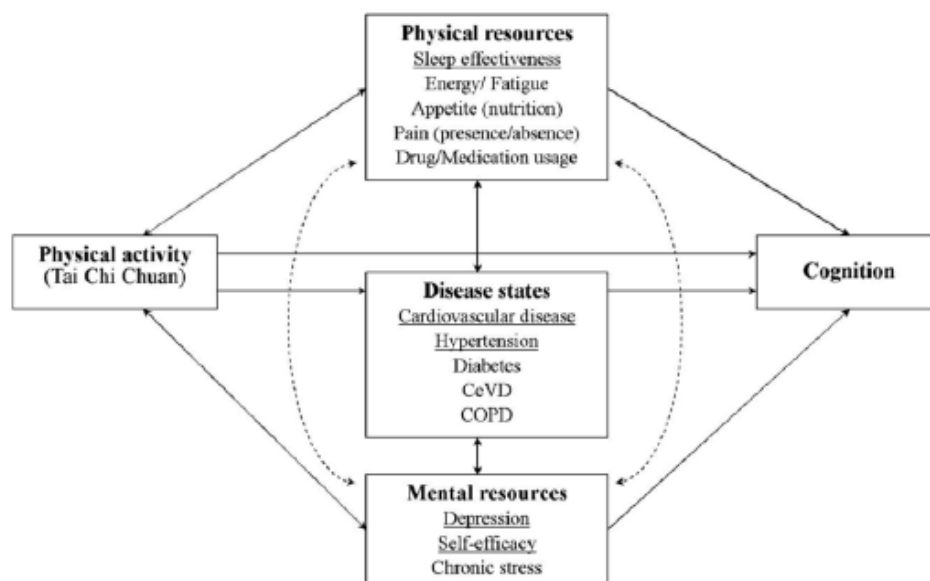


Abb. 7: Modell einer möglichen Beeinflussung und Interaktion von physischer Aktivität (Tai Chi), Ressourcen, Erkrankungen und Kognition (Spirduso et al., 2008, zitiert nach Chang et al., 2012, S. 460).

Die Autoren Chang et al. (2010) gehen davon aus, dass die Praktizierung von Tai Chi mittels Moderatorenvariablen (vgl. Abb. 7) einen positiven Einfluss haben kann auf einzelne, kognitive Funktionen des Menschen. So ist beispielsweise der Zusammenhang zwischen Schlafqualität und kognitiver Leistungsfähigkeit verschiedentlich nachgewiesen

worden. Ältere Erwachsene haben nicht selten Schlafschwierigkeiten, was sich nachvollziehbar auf die Lebensqualität und auf die Leistungsfähigkeit einer Person auswirkt.

Chang et al. (2010) gehen davon aus, dass beispielsweise die positive Korrelation zwischen Schlafqualität und Tai Chi einen möglichen sekundären Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit eines Menschen haben kann. Die Qualität des Schlafes ist eine wichtige physische und psychische Ressource des Menschen (Chang et al., 2010). Laut Jones & Harrison (2001) können Schlafstörungen die Leistungsfähigkeit von Aufgaben wie verbale Fluenz, Kreativität und Planungsaufgaben negativ beeinträchtigen. Schlaf hat nachweisliche Auswirkungen auf die körperliche und auf die geistige Leistungsfähigkeit (Mah et al., 2011).

Weiter gibt es Untersuchungen, die eine Korrelation zwischen Praktizierung von Tai Chi und einer Abnahme von Bluthochdruck und kardiovaskulären Störungen zeigen konnten. Beispielsweise hatte die Praktizierung von Tai Chi einen nachweislich gesenkten Blutdruck zur Folge (Lee et al., 2008). Myers (2008) weist darauf hin, dass Bluthochdruck und kardiovaskuläre Risikofaktoren bei älteren Menschen im Zusammenhang mit Defiziten in der kognitiven Leistungsfähigkeit stehen können. Beispielsweise kann dies eine geringe Aufmerksamkeit und eine niedrige Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses nach sich ziehen. Das heisst, wenn das Risiko mittels körperlicher Betätigung für Bluthochdruck und kardiovaskuläre Krankheiten gesenkt werden kann, so kann dies indirekt auch einen positiven Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit haben (Beck & Wagner-Hans, 2012).

Verschiedene Forscher gehen davon aus, dass durch die bewusste, konzentrierte und aufmerksame Körperhaltung im Tai Chi mögliche positive Auswirkungen auf die Kognition mitbeeinflusst und (mit-)erklärt werden könnten (Chang et al., 2010). Im Moment kann allerdings kein direkter Zusammenhang zwischen der Praktizierung von Tai Chi und kognitiven Fähigkeiten gezeigt werden (Chang et al., 2010).

Das Aktivitätslevel (für den Herzkreislauf) ist beim Tai Chi wie beim Gleichgewichtstraining als eher gering einzustufen. Die beiden Trainingsformen haben physiologisch noch andere Ähnlichkeiten, wie beispielsweise die Wichtigkeit der aufmerksamen Körperkontrolle – aus diesem Grund haben jene Resultate und Erkenntnisse eine gewisse Relevanz für die vorliegende Studie, bei der der Einfluss eines kurzzeitigen Gleichgewichtstraining auf das Lernen einer visuo-motorischen Lernaufgabe, sowie auf die Resultate bei zwei kognitiven Tests evaluiert und geprüft werden.

Sibley & Etnier (2003) erwähnen, dass schon verschiedene unterschiedliche Theorien und Paradigmen aufgestellt wurden, um einen möglichen Zusammenhang zwischen physischer Aktivität und Kognition zu erklären. Es wird meist eine Unterteilung in zwei Kategorien vorgeschlagen: Zum einen ist dies die Kategorie der physiologischen Mechanismen und zum anderen handelt es sich um die Kategorie der Entwicklungs- und Lernmechanismen. Zu den physiologischen Mechanismen, bewirkt durch die sportliche Betätigung, gehören auch ein erhöhter Blutfluss, strukturelle Veränderungen im zentralen Nervensystem und eine Umbildung der Neurotransmitter. Zur Kategorie der Lernmechanismen gehört die Tatsache, dass die physische Aktivität das Lernen von Bewegungen allgemein fördert (Sibley & Etnier, 2003).

Bezüglich des Zusammenhangs zwischen physischer Aktivität und Kognition bestehen noch viele offene Fragen. Es besteht eine begründete, nachgewiesene Evidenz, dass sich Fitnesstraining und die aerobe körperliche Aktivität in verschiedenen kognitiven Bereichen positiv auswirken, jedoch handelt es sich wie bereits erwähnt gesamthaft um relativ geringe Effekte (Etnier et al., 1997; Sibley & Etnier, 2003)

Die körperliche Aktivität wirkt sich nicht nur auf die physische Gesundheit, sondern auch auf die psychische Gesundheit positiv aus (Hillman et al., 2008). Bekannte positive Wirkungen auf Physis und Psyche des Menschen können beispielsweise eine Reduktion des Risikos für Herz-Kreislaufstörungen, Brust- und Darmkrebs, Übergewicht oder eine Reduktion des Risikos für Depression und Angststörungen sein. Beispielsweise konnte physische Betätigung bei ehemals depressiven Frauen helfen, den emotionalen Stress besser zu verarbeiten (Mata et al., 2012). Menschen mit Depressionen in der Vergangenheit reagieren in der Regel stärker auf Stress als Menschen ohne ehemals depressive Erkrankungen. Es zeigte sich, dass eine kurze Zeit von körperlicher Aktivität zu einer verbesserten Emotionsregulation beitragen kann (Mata et al., 2012). Es spielen jedoch zahlreiche andere Faktoren, wie der Lebensstil und die Krankheitsgeschichte der Person eine Rolle.

In der aktuellen Forschung ist man mehr und mehr bestrebt, die zugrundeliegenden Prozesse und Mechanismen und damit den Einfluss der physischen Aktivität auf kognitive Prozesse und Vorgänge genauer und tiefliegender zu untersuchen. Diese Mechanismen sind bisher noch recht unklar (Hillman et al., 2008). Neben veränderter Durchblutung der betroffenen Gehirnareale, dem damit zusammenhängenden erhöhten Angebot an Sauerstoff, herbeigeführt durch die körperliche Betätigung, können nach physischer Aktivität auch hormonelle Anpassungen beobachtet werden (Wagner et al. 2012).

Bei den Resultaten der Studien bestehen Unterschiede hinsichtlich den Auswirkungen bei Kindern, Erwachsenen und älteren Menschen: In künftigen Studien müssten die Beziehung physische Aktivität und Kognition bei Kindern und Erwachsenen getrennt und differenzierter angeschaut werden (Hillman et al., 2008).

Gesamthaft ist wenig darüber bekannt, wie Trainingsinterventionen die kognitiven Prozesse im gesunden, menschlichen Gehirn verbessern können (Hillman et al., 2008). Eine zentrale Annahme über die zugrundeliegenden Wirkmechanismen besteht darin, dass durch akute körperliche Aktivität die Ausschüttung von Steroidhormonen gewandelt wird, so dass diese veränderte Hormonkonzentration die kognitive Leistung (zusätzlich) mitbeeinflusst und positiv stimuliert. Befunde zum Zusammenhang von körperlicher Belastung und kognitiver Leistung sowie zu Steroidhormonen stützen sich häufig auf Daten von Erwachsenen (Wegner et al. 2012). Niederer et al. (2011) vermuten, dass strukturelle und funktionale Anpassungen zugrunde liegen, welche womöglich diesen Zusammenhang (mit-)erklären können. Sie heben hervor, dass noch weitere (Längsschnitt) Studien in diesem Zusammenhang nötig sind um fundierte Aussagen machen zu können.

Physische Aktivität und (oftmals) damit verbundene verbesserte körperliche Fitness hat zudem einen positiven Effekt auf die Verbesserung der Gehirnstrukturen und -funktionen, wie beispielsweise eine gesteigerte Produktion von Neurotransmittern und eine verbesserte Angiogenese, Synaptogenese und Neurogenese (McAuley et al., 2004). Bei einer Vielzahl von Studien mit Mensch und Tier konnte das Fitnesstraining als eine effektive Strategie zur Aufrechterhaltung von kognitiven Funktionen und der neuronalen Plastizität im Alter gezeigt werden, wie dieselben Autoren in ihrem Review-Artikel zusammenfassen.

Wie die Grafik (Abb. 8) von McAuley et al. (2004) anschaulich zeigt, haben eine Vielzahl von Faktoren einen Einfluss auf die Gesundheit eines Menschen und so auch auf die kognitiven Fähigkeiten und Kapazitäten einer Person. Dabei spielen intra-personelle Faktoren und das Umfeld, in dem ein Mensch aufwächst und lebt, eine grosse Rolle. Diese Faktoren wiederum beeinflussen die körperliche Aktivität und damit den Fitnesslevel eines Menschen, was dann wiederum einen Einfluss hat auf die körperliche und geistige Gesundheit des Individuums (McAuley et al., 2004):

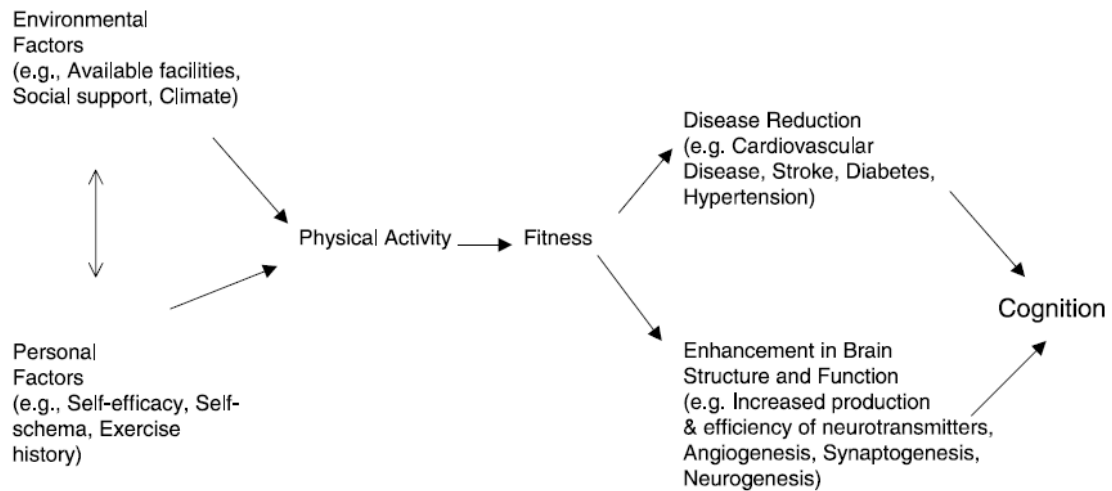


Abb. 8: Modell nach McAuley et. al. (2004, S. 215) über den Einfluss, Folgen und Konsequenzen von physischer Aktivität auf Fitness und Kognition.

Die Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen körperlicher Betätigung und kognitiver Leistungsfähigkeit unterliegen verschiedenen Limitationen. Mittels Studien, die einen Zusammenhang zu Leistungen in kognitiven Tests zeigen, können zum Beispiel nur Aussagen zu einzelnen Aspekten von kognitiven Funktionen gemacht werden (Wegner et al. 2012).

Es ist relativ wenig darüber bekannt, wie lange allfällige positive Effekte auf die kognitive Leistung nach einer akuten physischen Belastung anhalten. Bei der Testung ist es zudem möglich, dass die Reihenfolge eine Rolle spielt (Wegner et al. 2012).

Bei Studien ist es oftmals schwer zu kontrollieren, welchen Belastungen und Einflüssen die Probanden während der Zeit ausserhalb der Studie ausgesetzt sind.

Künftige Studien sollten Antworten darauf liefern, welches das ideale Alter für den Trainingsbeginn ist, damit die kognitiven Fähigkeiten positiv und nachhaltig gefördert werden können. Welches sind die besten Varianten, Häufigkeiten und die optimale Dauer des Trainings? Gibt es einen Zeitpunkt, bei dem es zu spät ist zu beginnen? Ein wichtiger Faktor ist die Beachtung anderer Faktoren bei Untersuchungen in Abhängigkeit der physischen Aktivität, wie beispielsweise der Lebensstil der Probanden und dessen Einfluss auf Kognition und Gehirnaktivität (Hillman et al., 2008).

Zusammengefasst zeigen zahlreiche Studien einen positiven Einfluss von physischer Aktivität auf die kognitiven Funktionen des Menschen. Oftmals handelt es sich um eher geringe Effekte. Unterschiedliche Autoren erwähnen in ihren Studien und Metaanalysen,

dass zahlreiche weitere Faktoren und Einflüsse eine Rolle spielen und jene Kapazitäten des Menschen beeinflussen und moderieren können.

2.2.5. Neurophysiologische Aspekte

Verhaltensbiologische Studien verweisen vermehrt auf den positiven Einfluss von sportlicher Betätigung auf die Kognition. Vermehrt möchte man auch die zugrundeliegenden Mechanismen erforschen.

In einigen aktuellen Untersuchungen konnten auf neurophysiologischer Ebene gute und fördernde Effekte eines Koordinationstrainings nachgewiesen werden. Dabei handelte es sich um ein einjähriges Koordinationstraining, das bei älteren Probanden eine verbesserte Aufmerksamkeitsleistung sowie eine höhere Wahrnehmungsgeschwindigkeit zur Folge hatte (Voelcker-Rehage et al., 2011). Bei dieser Längsschnittstudie wurde einerseits der Einfluss eines kardiovaskulären Trainings, andererseits der Einfluss eines koordinativen Trainings untersucht, dies im Vergleich mit einer Kontrollgruppe, die währenddessen Relaxation und Stretching durchführte. Die Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit wurde bei 44 Probanden (Alter: 62 – 79 Jahre) untersucht. Die Teilnehmer führten während 12 Monaten dreimal wöchentlich ein Training durch und die Gehirnaktivitäten wurden mittels MRI erfasst.

Die Erkenntnisse der Studie betreffend funktionellen Veränderungen des Gehirns weisen darauf hin, dass die älteren Probanden das Gehirn nach dem Koordinationstraining effizienter nutzen können. Die Resultate konnten zeigen, dass die Probanden nach dem Koordinationstraining für eine genaue und schnelle Lösung von Aufmerksamkeitsaufgaben quantitativ weniger Gehirnkapazitäten benützten. Zudem führte das Training zu einigen Veränderungen in Gehirnregionen, die mit der räumlich-visuellen Wahrnehmung assoziiert werden. Die Ergebnisse der Studie zeigten eine nahezu lineare Veränderung über die 12 Monate. Daraus folgern die Autoren der Studie, dass ein länger dauerndes oder fortwährendes Training noch zusätzliche positive Effekte zur Folge haben kann. Sie betonen jedoch auch, dass bisher noch nicht feststehe, wie schnell – nach Phasen der Inaktivität – sich die erwähnten positiven Auswirkungen und Veränderungen im Gehirn wieder zurückbilden (Voelcker-Rehage et al., 2011).

Koordinative Übungen erfordern laut Voelcker-Rehage et al. (2011) ein komplexes Zusammenspiel zwischen der Informationsaufnahme (Wahrnehmung), der Informationsverarbeitung (einschliesslich kognitive Prozesse), der

Informationsspeicherung (Erfahrung und Gedächtnis) sowie der Informationsabgabe (Bewegungssteuerung). Dies erfordert eine Integration von verschiedenen kognitiven Funktionen. Voelcker-Rehage et al. (2011) sind der Meinung, dass ein Einfluss von koordinativen Übungen auf kognitive Funktionen wohl deshalb besteht, weil dies eine enge Verbindung neuronaler Strukturen und einer Aktivierung von gemeinsamen zerebralen Zentren, wie beispielsweise dem Kleinhirn und dem präfrontalen Cortex, bewirkt.

Einfache koordinative Übungen, wie beispielsweise immer dieselbe Sequenz mit einem Finger zu tippen, zeigen in erster Linie eine neuronale Aktivität in motorischen Bereichen (prämotorischen Cortex) sowie in subkortikalen Regionen (Kleinhirn, Basalganglien). Bei komplexen motorischen Bewegungen (beispielsweise bei bi-manuellen Koordinationsaufgaben) wurde eine höhere Aktivität derselben Gehirnregionen und in Arealen des präfrontalen Cortex gemessen (Serrien et al., 2006). Dies könnte auf einen erhöhten Gebrauch von Kontrollprozessen hinweisen (Windisch et al., 2011).

Das Kleinhirn ist an einer grossen Anzahl von motorischen und sensorischen sowie kognitiven Steuerungsprozessen beteiligt, aus diesem Grund kommt dieser Gehirnregion eine Schlüsselrolle bei kognitiven und koordinativen Funktionen zu (Windisch et al., 2011).

Es ist möglich, dass akute und koordinativ anspruchsvolle Belastungen beim Probanden eine Voraktivierung von neuronalen Netzwerken im Kleinhirn und im präfrontalen Cortex zur Folge haben. Dies kann helfen, anschliessende, mentale Prozesse schneller ablaufen zu lassen oder allenfalls Gedächtnisprozesse zu erleichtern (Budde et al., 2008).

Bei der Studie von Voelcker-Rehage et al. (2011) konnten wie oben erwähnt nach einem einjährigen Koordinationstraining neben Veränderungen in der Leistung auch Veränderungen im Gehirn festgestellt werden: Der frontale Cortex zeigte bei der Ausführung einer Aufmerksamkeitsaufgabe eine reduzierte Aktivierung und das visuell-räumliche Netzwerk zeigte eine verstärkte Aktivierung. Windisch et al. (2011) folgern, dass koordinative Bewegungseinheiten aufgrund dieser Resultate auch das Gehirn und dessen Aktivitäten positiv beeinflussen und fördern können. Dabei scheint es wichtig zu sein, dass diese Übungen einen Einsatz von kognitiven Funktionen und Prozessen fordern. Die Koordinationsaufgaben sollten deshalb nach Windisch et al. (2011) so konzipiert sein, dass Bewegungen nicht automatisch ablaufen, sondern Koordination und Kognition bei der Ausführung erfordern.

In einer Untersuchung mit Mäusen ging es darum, unterschiedliche Auswirkungen eines Akrobatiktrainings (Hindernisparscours aus Sprossenleitern, elastische Seile, instabile

Hindernisse und Brücken) und ein gleich lang dauerndes Ausdauertraining und deren Wirkung auf das Gehirn der Mäuse zu untersuchen.

Das Koordinationstraining führte zu einer erhöhten Anzahl Synapsen pro Nervenzelle in der Grosshirnrinde, während das Ausdauertraining die Kapillarisierung und somit die Sauerstoffversorgung in der Grosshirnrinde verbesserte und förderte (Black et al., 1990).

In einer weiteren Untersuchung zeigten Ratten nach einem Akrobatiktraining im Vergleich mit inaktiven oder Ausdauer trainierenden einen erhöhten Level des Neurotrophins BDNF. Dieser Anstieg war in der ersten Trainingswoche sowohl bei jenen Tieren, die Ausdauer trainierten, als auch bei jenen, die Akrobatik trainierten, zu beobachten. In der zweiten Woche jedoch konnten diese Effekte nur bei jener Gruppe, die Akrobatik trainierte, aufrechterhalten werden (Klintsova et al., 2004).

Ein effektiver arbeitendes Kleinhirn bedeutet im Normalfall ein grösseres Volumen an Kleinhirnneuronen (Windisch et al., 2011). Dies ist verbunden mit einer verstärkten Innervierung, einer vermehrten Kapillarisierung und mit erhöhten Werten des Wachstumsfaktors BDNF (brain-derived-neurotrophic factor) in bestimmten Regionen (Windisch et al., 2011).

Die Funktion von BDNF besteht darin, wichtige neuronale Aufgaben zu regulieren. Dies sind beispielsweise die Umstrukturierung von Dendriten und Axonen oder die Erhaltung und Wachstums der Neuronen. Ebenso spielt es eine wichtige Rolle bei der Langzeit-Potenzierung, die wichtig ist für den Gedächtnisvorgang. Es gibt Vermutungen, dass der Wachstumsfaktor eine wichtige Rolle spielt für Veränderungen kognitiver Funktionen, die durch Training induziert werden (Vaynman et al., 2004).

Der Einfluss von Sport und körperlicher Aktivität auf Kognition und auf das Lernen scheint ein komplexes Wirkungsgefüge zu sein. Vieles davon ist noch nicht genauer und tieferliegend entschlüsselt (Wegner et al., 2012).

Wissenschaftliche Untersuchungen konnten zeigen, dass körperliche Aktivität, wie beispielsweise das erwähnte Koordinationstraining, kurzfristig neuronale Veränderungen herbeiführen kann. Dies zeigt sich beispielsweise in Form einer „Voraktivierung“ von verschiedenen Gehirnregionen wie die des Kleinhirns oder des präfrontalen Cortex. Dies wiederum könnte eine Effektivitätssteigerung für nachfolgende kognitive Aufgaben zur Folge haben (Windisch et al., 2011). Auch eher langfristige Folgen wie die Ausschüttung des Wachstumsfaktors BDNF oder eine bessere synaptische Verschaltung können mögliche neurophysiologische (Mit-)Ursachen für verbesserte kognitive Leistungen sein,

die in verschiedenen Untersuchungen beobachtet und festgestellt werden konnten (Windisch et al., 2011).

Es kann davon ausgegangen werden, dass Leistungsfortschritte Veränderungen in neuronalen Bewegungsrepräsentationen herbeiführen. Beispielsweise ist bei einem Geigenspieler eine Vergrößerung des somato-sensorischen Cortex für die linken Finger, mit denen er die Seiten des Instruments greift, zu beobachten. Die synaptische Plastizität steht im Zusammenhang mit den motorischen Lernvorgängen (Beck & Wagner-Hans, 2012).

Bisher wurden zelluläre und molekulare Einflüsse von physischer Aktivität vorwiegend mittels Tierexperimenten untersucht. Es sind diesbezüglich noch weitere Untersuchungen beim Menschen nötig (Windisch et al., 2011).

2.3. Ziel und konkrete Fragestellung

Wie sich ein kurzzzeitiges Gleichgewichtstraining auf eine motorische Lernaufgabe und auf die kognitive Leistungsfähigkeit auswirkt, wurde bisher noch nicht erforscht.

Dies ist das Ziel und die Fragestellung der vorliegenden Arbeit: Welcher Einfluss hat ein kurzzzeitiges Gleichgewichtstraining, einerseits auf das Lernen und Behalten (Retention) einer visuo-motorischen Lernaufgabe und andererseits auf die kognitive Leistungsfähigkeit der Probanden. Mit Hilfe einer Trainings- und einer Kontrollgruppe wurde dies zwischen den Gruppen und intra-individuell untersucht. Um die Fragestellung dieser Untersuchung zu beantworten, wurden folgende Hypothesen aufgestellt.

2.4. Hypothesen

Hypothese 1: Die Leistungssteigerung bei der motorischen Lernaufgabe ist durchschnittlich besser bei jener Gruppe, die begleitend ein Gleichgewichtstraining durchgeführt hat, als bei der Kontrollgruppe ohne Gleichgewichtstraining.

Hypothese 2: Die Leistungssteigerung im Stroop-Test ist im Durchschnitt höher bei jener Gruppe, die ein begleitendes Gleichgewichtstraining durchgeführt hat, als bei der Kontrollgruppe ohne Gleichgewichtstraining.

Hypothese 3: Bei allen Probanden findet beim Stroop-Test (Tafel 3) durch die Testwiederholung eine Leistungssteigerung statt, mit und ohne begleitendes Gleichgewichtstraining.

Hypothese 4: Die Gesamtbearbeitungszahl (quantitative Leistung) und die prozentuale Fehlerrate beim d2-Test verbessert sich bei jener Gruppe, die ein begleitendes Gleichgewichtstraining durchgeführt hat im Durchschnitt mehr, als bei der Kontrollgruppe ohne Gleichgewichtstraining.

3. Methoden

3.1. Messverfahren

Zur Prüfung der Hypothesen wurden verschiedene Messmethoden verwendet. Die Leistungsfähigkeit bei der Ausführung einer visuo-motorische Lernaufgabe (Nachfahren einer Linie, angesteuert durch leichte Bewegungen mit dem Unterarm) wurde an drei Messtagen überprüft.

Ebenso führten Probanden beider Gruppen zwei kognitive Tests am ersten Messtag (zu Beginn und am Ende der Messung), sowie den Stroop-Test zusätzlich am zweiten und dritten Messtag durch.

Bei der Trainingsgruppe wurde zusätzlich das Gleichgewicht bei den einzelnen Messzeitpunkten gemessen. Diese Daten werden bei der vorliegenden Studie jedoch nicht weiterverwendet. Dies in erster Linie darum, weil bei der Kontrollgruppe jene Messung weggelassen wurde, da dies ein (leichtes) Training für das Gleichgewicht bedeutet hätte und die Messung etwas verfälscht hätte.

Nachfolgend werden die einzelnen Messverfahren beschrieben.

3.1.1. Visuo-motorische Lernaufgabe

Die Probanden nahmen in einem bequemen Sitz mit freiem Blick auf den Bildschirm Platz. Die rechte Hand legten die Probanden in eine Handgelenksschiene. Dies stellt sicher, dass durch die Einschränkung der Freiheitsgrade die gesamte Kraftentwicklung aus dem Ellbogengelenk kommt und nicht (zusätzlich) aus dem Handgelenk. Diese Handgelenksschiene ist mit einem Kraftaufnehmer (Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, MA, USA) verbunden.

Durch leichte Bewegungen durch Kontraktionen des M. biceps femoris eine rote Linie, die nach dem Startsignal auf dem Bildschirm erschien, angesteuert werden. Ebenso erschienen fixe, unregelmässige Wellenlinien auf dem Bildschirm (vgl. Abb. 9, Soll-Linie) die so gut wie möglich nachgefahren werden sollte.

Der Proband beziehungsweise die Probandin wurde zu Beginn angewiesen, so gut wie möglich nach dem Startzeichen mit jener Linie, die mit leichten Bewegungen angesteuert werden konnte, möglichst genau der vorgegebenen Linie nachzufahren.

Das untenstehende Muster (Abb. 9) erschien bei jedem Versuch fünf Mal nacheinander und sollte vom Probanden bei jedem Versuch (Training und Retention) bestmöglich nachgefahren werden.

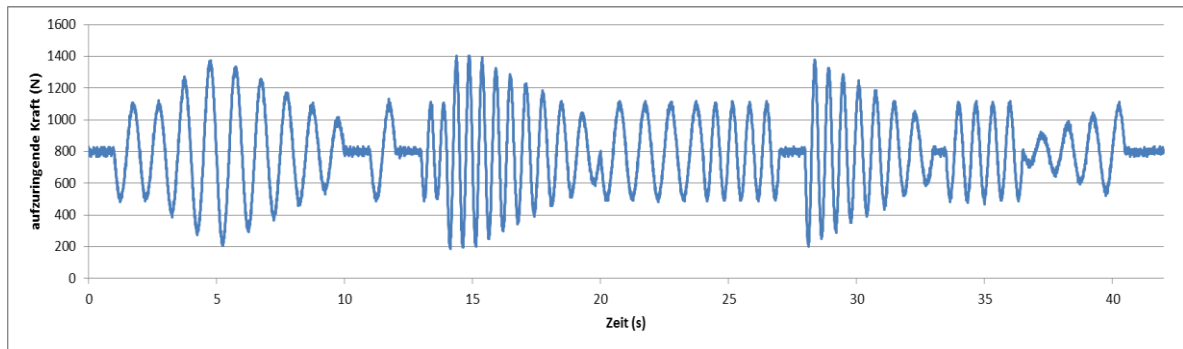


Abb. 9: Soll-Kurve für die visuo-motorische Lernaufgabe, die mittels leichten Bewegungen des Unterarms möglichst genau nachgefahren werden sollte. Pro Lerndurchgang erschien obenstehende Linie total fünf Mal.

3.1.2. Kognitive Tests

Zur Prüfung der kognitiven Leistungsfähigkeit wurden für diese Untersuchung die psychologischen Verfahren Stroop-Test und der Aufmerksamkeitstest d2 ausgewählt.

Diese Testverfahren werden zu unterschiedlichen Zwecken benutzt. In der Diagnostik und für verschiedene psychologische Abklärungen sind es zwei gesamthaft häufig verwendete Verfahren.

Im Zusammenhang mit Untersuchungen betreffend der Überprüfung einer Korrelation von körperlicher Aktivität und Kognition wurden beide Tests bereits verschiedentlich benützt. Dies ist beispielsweise im Übersichtsartikel zum Thema von Wegner et al., (2012) ersichtlich: In zahlreichen Untersuchungen wurden, neben anderen Verfahren, der Stroop-Test und der d2-Test verwendet (vgl. Völkel & Hennig, 2012; Budde et al., 2008). Nachfolgend werden die beiden Instrumente vorgestellt:

Stroop-Test:

Das Ziel des Stroop-Tests ist die Messung von kognitiven Grundfunktionen. Es geht darum, Kodierung und Dekodierung von Information zu messen.

Kognitive Grundfunktionen wie Umsetzung und Filterung von Informationen werden damit evaluiert. Der Test ist eine standardisierte Messung und hat zum Zweck, bestimmte kognitive und sensomotorische Grundfähigkeiten, inklusive der Farbe-Wort-Interferenz, zu evaluieren. Der Test misst das sogenannte Aktionstempo, die Benennungsleistung und die Selektivität (Bäumler, 1985).

Mit dem Begriff „Stroop-Effekt“ wird ein experimentalpsychologisches Phänomen beschrieben, das bei Verarbeitungskonflikten auftritt. Er weist darauf hin, dass trainierte

Handlungen fast automatisch ablaufen, während neue oder ungewohnte Handlungen eine erhöhte Aufmerksamkeit der Person benötigen.

Beim Stroop-Test gilt es drei verschiedene Tafeln zu bearbeiten. Zuerst sollen bei der Tafel 1 die Farbbegriffe so schnell wie möglich gelesen werden. Bei Tafel 2 geht es darum, die Farbstriche so schnell wie möglich zu benennen und bei Tafel 3 soll der Proband die Farbe der ihm präsentierten Farbwörter nennen. Diese sind bei Tafel 3 nicht identisch mit dem Inhalt des Wortes. Das heisst, das Wort entspricht nicht der Druckfarbe (zum Beispiel das Wort **BLAU** ist in grüner Farbe geschrieben: Korrekte Antwort ‚grün‘). Damit steigt die Fehlerzahl und die Reaktions- beziehungsweise die Bearbeitungszeit bei dem Probanden an. Pro Durchgang werden drei A4-Blätter (Tafel 1 – 3), entsprechend den nachfolgenden Beispielen, die der Proband vor dem Test als Übung und zur Anweisung lesen und üben konnte, behandelt.

Test-Tafel 1

1. Lesen Sie die folgenden, in schwarzer Farbe geschriebenen Farbwörter so rasch wie möglich vor. Jede Spalte soll von oben nach unten gelesen werden, mit möglichst raschem Übergang von einer Spalte auf die nächste. Ihre Lesezeit wird probeweise gestoppt. Sie dürfen, wenn Ihnen das leichter erscheint, mit dem Finger einer Hand **neben** den Wörtern mitfahren. Sobald Sie fertig sind, sagen Sie bitte „Ende“.
(Achtung! ... Los!)

BLAU

GRÜN

ROT

ROT

BLAU

GRÜN

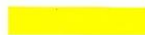
GELB

ROT

BLAU

Test-Tafel 2

2. Benennen Sie nun die Farben der folgenden Farbstriche ebenfalls so rasch wie möglich (von oben nach unten). Die Zeit wird wiederum gestoppt. Sie können wieder mit dem Finger mitfahren. Sobald Sie fertig sind, sagen Sie bitte „Ende“.
(Achtung! ... Los!)



Test-Tafel 3

3. Im folgenden sind nun die Farbwörter bunt geschrieben. Dabei sind Farbe und Farbwort stets verschieden. Überprüfen Sie das. – Sie sollen jetzt so rasch wie möglich **nur die Farben benennen**, in denen die Wörter geschrieben sind, nicht jedoch die Farbwörter vorlesen. Machen Sie möglichst keine Fehler. Mitfahren mit dem Finger ist erlaubt. Sobald Sie fertig sind, sagen Sie bitte „Ende“.
(Achtung! ... Los!)

GRÜN

ROT

GELB

GELB

GRÜN

BLAU

ROT

GELB

ROT

Vor der Durchführung des Tests wurde geklärt, ob bezüglich Lesefähigkeit und/oder Farben eine Schwäche besteht. Falls dies der Fall war, wurde dies im Protokoll festgehalten.

Die Bearbeitungszeit der einzelnen Probanden wurde gemessen und festgehalten. Wenn der Proband einen Fehler machte und diesen danach korrigierte (die richtige Farbe nannte) wurde dies nicht notiert, da dies den Probanden entsprechend Zeit kostete. Wenn der Fehler gemacht und nicht bemerkt beziehungsweise nicht korrigiert wurde, dann wurde es auf dem Auswertungsblatt festgehalten.

Aufmerksamkeitstest d2:

Bei diesem Test handelt es sich um einen allgemeinen Leistungstest, der keine bestimmten Fähigkeiten, jedoch ein hohes Mass an Aufmerksamkeit und Konzentration erfordert.

Die guten und abgesicherten Testgütekriterien des d2-Tests (Objektivität, Reliabilität und Validität) und eine einfache Anwendung führen dazu, dass der Test verhältnismässig häufig verwendet wird. Schnelligkeit und Konzentrationsfähigkeit werden mit hoher Messgenauigkeit, das heisst mit hoher interner Konsistenz erfasst und der Kennwert für die Genauigkeit (Fehlerrate) weist ebenso eine befriedigende Reliabilität auf (Brickenkamp, 1994a).

Der Aufmerksamkeitstest hat zum Ziel, die Konzentrationsfähigkeit des Probanden zu testen. Ebenso sollen Arbeitsgenauigkeit und Arbeitsgeschwindigkeit mit diesem Test evaluiert werden. Er besteht aus „p“ und „d“ in 14 Reihen mit je 47 Zeichen. Sie sind oben und/oder unten mit 1 bis 4 Strichen markiert.

Beispiele: " d i d
 " "

Abb. 10: d2-Test: Alle „d“ mit zwei Strichen (wie obenstehende Beispiele) sollen durchgestrichen werden.

Der Proband hat die Aufgabe, innerhalb von 20 Sekunden eine Linie zu bearbeiten und möglichst viele „d“, die mit genau zwei Strichen markiert sind, durchzustreichen. Die Anweisung an den Probanden ist so, dass möglichst wenig Auslassungs- und Verwechslungsfehler gemacht werden sollen. Um zu überprüfen, ob der Proband die Instruktion verstanden hat, kann vor dem Test eine Übungszeile gemacht werden.

Der d2-Test misst Sorgfalt und Tempo des Arbeitsverhaltens bei der Unterscheidung ähnlicher visueller Reize. Der Test und die Testdurchführung werden klar erklärt und die Probanden werden in der Anweisung aufgefordert, möglichst ohne Fehler zu arbeiten. Nach 20 Sekunden wird dem Proband mittels Stop-Zeichen mitgeteilt, die betreffende Zeile abubrechen und zur nächsten Zeilenreihe von Insgesamt 14 Zeilen zu wechseln. Der d2-Test misst das Tempo und die Sorgfalt des Arbeitsverhaltens bei der Unterscheidung von ähnlichen, visuellen Reizen. Dies ermöglicht die individuelle Evaluation von Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistungen (Brickenkamp, 1994a).

Beim d2-Test werden verschiedene Parameter erhoben: Dies ist der Wert der quantitativen Leistung (Gesamtzahl der total bearbeiteten Items), die Summe der Fehler (Total), daraus kann der Prozentsatz der Fehler im Verhältnis (in %) zur quantitativen Leistung errechnet werden.

Zusätzlich wird die Differenz zwischen der maximalen und der minimalen Leistung pro bearbeiteten Linie errechnet. Dies gibt einen Hinweis auf die Regelmässigkeit der Arbeit. Weitere Evaluationsmöglichkeiten sind die totale Fehleranzahl von der quantitativen Leistung zu subtrahieren oder die Anzahl der korrekt durchstrichenen „d“ (mit zwei Strichen) zusammenzuzählen (Brickenkamp, 1994b).

3.1.3. Gleichgewichtsmessung

Die dynamisch-posturale Gleichgewichtskapazität wurde mit Hilfe einer multi-axialen Plattform (Posturomed) gemessen. Die quadratische Plattform ist an vier Pendeln montiert, um sicherzustellen, dass alle Bewegungen in alle Richtungen (transversal) möglich sind. Die Probanden werden aufgefordert, je mit dem linken und rechten Bein für 15 Sekunden, den Blick horizontal fixiert, möglichst ruhig (im Gleichgewicht) zu stehen (Einbeinstand linkes und rechtes Bein). Das Gerät kann von der Mittelposition wegbewegt und mittels Magnet fixiert werden (Distanz von Mitte ca. 25 mm).

Um die Gleichgewichtsfähigkeit der Probanden zu testen, wurde die axiale Plattform lateral mit einem Magnet fixiert und unvorhergesehen losgelöst. Die Aufgabe der Probanden war, nach dieser Perturbation das Gleichgewicht und die Haltungskontrolle möglichst schnell wiederzufinden und zu halten, dies während einer Dauer von 15 Sekunden (Posturomed mit Perturbation).

Die multi-axiale Plattform (vgl. Abb. 11) wird am Magnet befestigt. Der Proband sucht auf einem Bein stehend baldmöglichst einen festen Stand. Der Magnet, der die Plattform fixiert, wird gelöst wodurch die Platte beschleunigt wird. Die Aufgabe des Probanden besteht nun darin, die multi-axiale Plattform so schnell wie möglich zu beruhigen, das heisst die Schwankung möglichst schnell zu verringern. Je geringer dieser Schwankweg, desto tiefer sind die daraus resultierenden Werte und desto besser die Gleichgewichtsleistung.

Mit jedem Bein wurden drei Versuche durchgeführt. Zusätzlich wurden bei allen Messungen Fehlversuche notiert. Die Testung wurde ganz zu Beginn des ersten Messtages, am Ende des ersten Messtages und am Ende des dritten Messtermins durchgeführt.

Dabei wird der Schwankungsweg in der x-Achse und in der y-Achse aufgezeichnet. Die Schwankung dauert jeweils 15 Sekunden. Die Werte (Schwankungsweg) wurden in cm/V gemessen und deskriptiv festgehalten. Sie wurden jedoch nicht weiter für die Analyse verwendet. Dies aus dem Grund, da eine Messung des Gleichgewichts bei der Kontrollgruppe einem kleinen Gleichgewichtstraining gleichgekommen wäre.



Abb. 11: Messung des Gleichgewichts mit Hilfe der multi-axialen Plattform (Posturomed) während 15 Sekunden.

3.2. Stichprobe

An der Studie haben total 21 Probanden teilgenommen (11 Männer = 52.4 %; 10 Frauen = 47.6 %) (vgl. Abb. 12). Das Durchschnittsalter lag bei 23.9 Jahren (SD = 4.77).

Der Mittelwert der Grösse der Probanden betrug 174.4 cm (SD = 6.73 cm) und das durchschnittliche Gewicht der Probanden 66.9 kg (SD = 8.7 kg).

Es handelte sich bei den Probanden um Studentinnen und Studenten unterschiedlicher Studienrichtungen der Universität Fribourg. Für die Teilnahme an der Studie (drei Messtermine) erhielten die Teilnehmer eine pauschale Vergütung von Fr. 30.-.

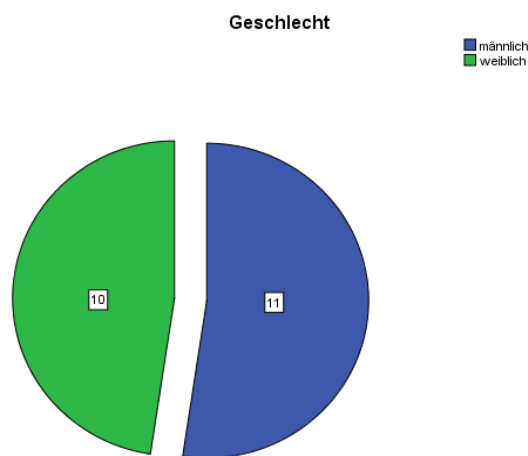


Abb. 12: Anteil der Studienteilnehmer nach Geschlecht.

Die 21 Probanden, die an der Studie teilgenommen haben, wurden randomisiert in eine Kontroll- und in eine Trainingsgruppe eingeteilt (vgl. Tab. 1). Die zwei Gruppen setzten sich in Anzahl, Alter, Grösse und Gewicht folgendermassen zusammen:

Tabelle 1 : Anzahl und Durchschnitt von Alter, Grösse und Gewicht der Probanden in der Trainingsgruppe und in der Kontrollgruppe.

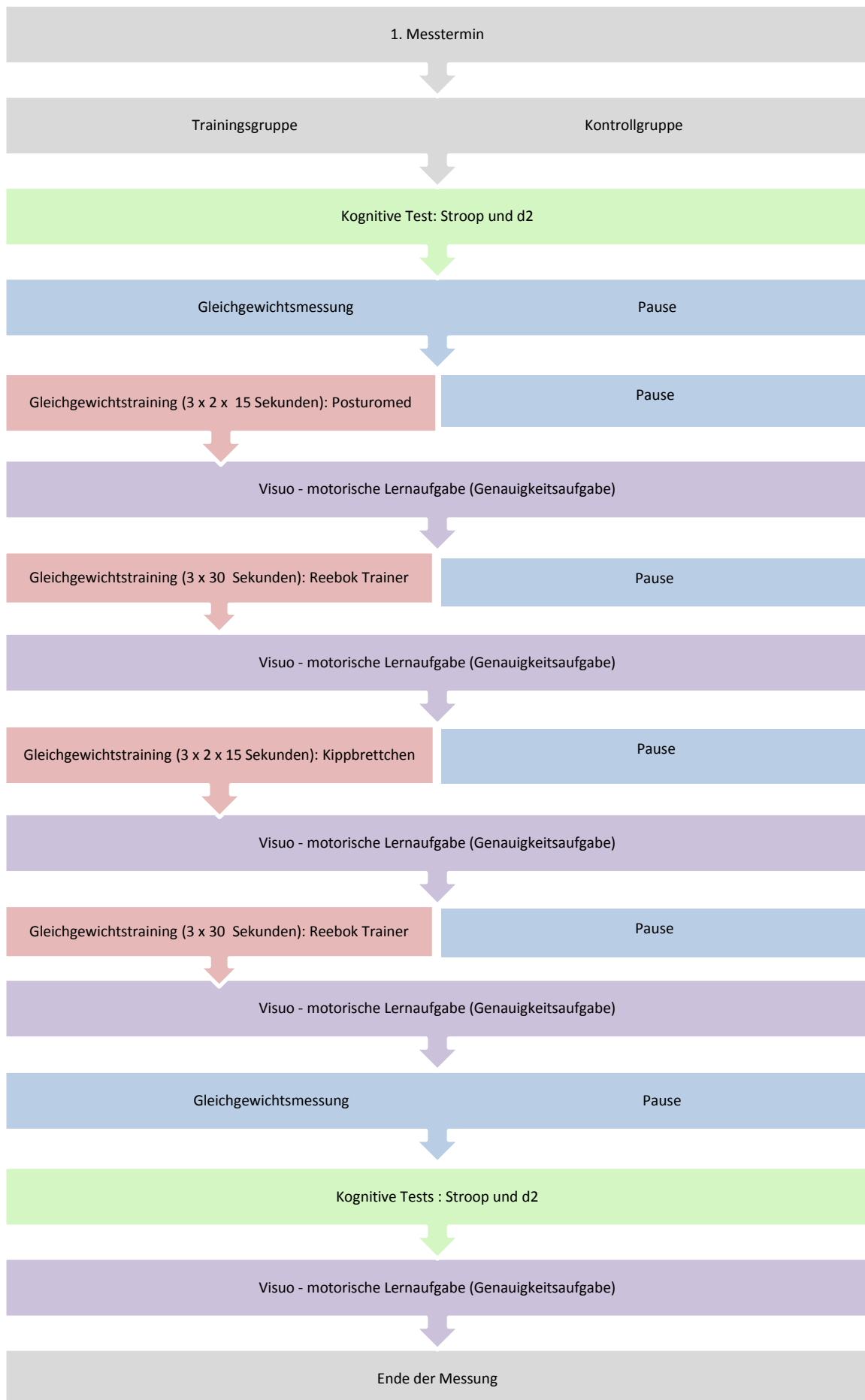
| | Trainingsgruppe | Kontrollgruppe |
|--|------------------------|-----------------------|
| Anzahl Probanden (Geschlecht) | 11 (5 w, 6 m) | 10 (5 w, 5 m) |
| Mittelwert Alter in Jahren (Standardabweichung) | 23.6 (SD = 3.55) | 24.2 (SD = 5.81) |
| Mittelwert Grösse in cm (Standardabweichung) | 175.2 (SD = 6.87) | 173.6 (SD = 6.47) |
| Mittelwert Gewicht in kg (Standardabweichung) | 68.8 (SD = 9.59) | 64.8 (SD = 7.03) |

Die einzige Linkshänderin, die an der Studie teilgenommen hat, war in der Trainingsgruppe eingeteilt. Die restlichen Probanden waren alles Rechtshänder.

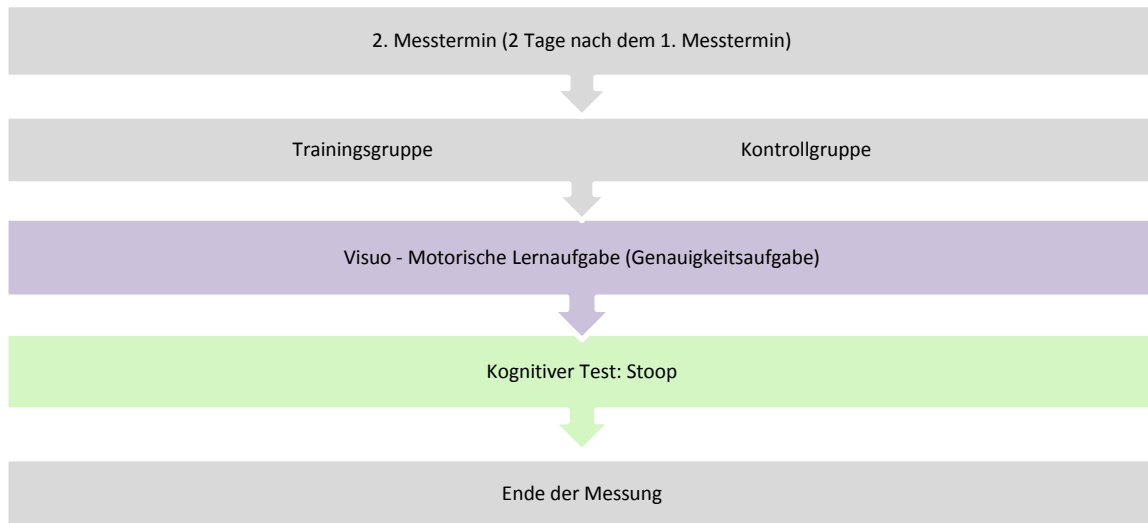
3.3. Intervention: Erlernen einer visuo-motorischen Lernaufgabe

Die beiden Gruppen durchliefen ein zeitlich identisches, jedoch inhaltlich unterschiedliches Programm. Für beide Gruppen ging es darum, eine visuo-motorische Genauigkeitsaufgabe zu üben und zu lernen. Die Trainingsgruppe führte dies begleitend mit einem Gleichgewichtstraining durch, während die Kontrollgruppe in dieser Zeit jeweils pausierte.

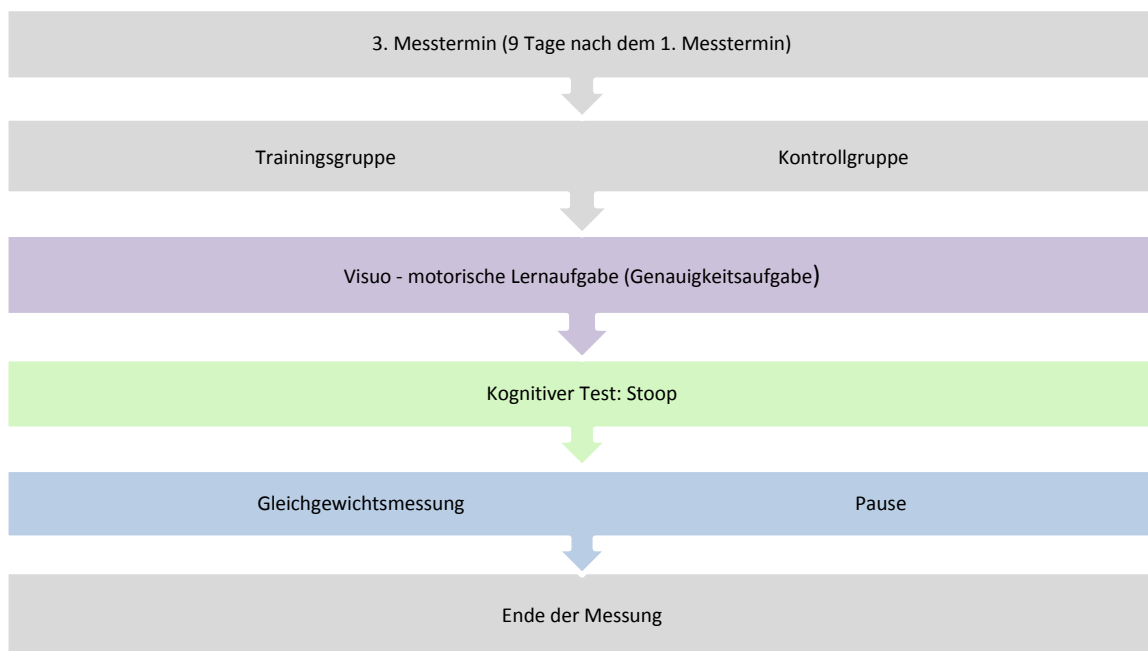
Der Ablauf (Protokoll) sah für die zwei Gruppen während den drei Messtagen (1., 2. und 3. Messtermin) folgendermassen aus:



2 Tage nach dem ersten und längsten Messtermin wurde ein zweiter Termin mit den Probanden vereinbart. Am zweiten Messtermin war der folgende Ablauf:



7 Tage nach der zweiten Messung wurde ein dritter Termin vereinbart. Am Messtermin war der folgende Ablauf:



Die total 21 Probanden wurden willkürlich in die Trainings- oder in die Kontrollgruppe eingeteilt. Sie erhielten vorgängig eine grobe und keine detaillierte Information darüber, worum es in der Untersuchung geht.

3.3.1. Lernen mit Gleichgewichtsübungen

Folgende Übungen wurden im Rahmen des Gleichgewichtstrainings den Probanden der Trainingsgruppe vorgezeigt und von den Probanden anschliessend selbst durchgeführt:

- 3 x 15 Sekunden (3 Mal je 15 Sekunden rechtes und linkes Bein) auf dem Posturomed mit Airexmatte Gleichgewicht trainieren (vgl. Abb. 11). Dies wird mit dem linken und rechten Bein drei Mal durchgeführt mit 2 mal 30 Sekunden Pause dazwischen (danach visuo-motorische Genauigkeitsaufgabe).
- 3 x 30 Sekunden Gleichgewichtstraining mit Reebok-Trainer (Abb. 13), das heisst es wurde drei Mal durchgeführt mit je 30 Sekunden Pause dazwischen (danach visuo-motorische Genauigkeitsaufgabe).



Abb. 13: Gleichgewichtstraining mit dem Reebok – Trainer.

- 3 x 15 Sekunden (3 Mal je 15 Sekunden rechtes und linkes Bein) Gleichgewichtstraining mit Kippbrettchen (Abb. 14). Dies wird mit dem linken und rechten Bein drei Mal durchgeführt mit 2 mal 30 Sekunden Pause dazwischen (danach visuo-motorische Genauigkeitsaufgabe).



Abb. 14: Gleichgewichtstraining mit dem Kippbrettchen.

- 3 x 30 Sekunden mit einem Federbrett Gleichgewicht trainieren, mit je 30 Sekunden Pause dazwischen (Abb. 15) (danach visuo-motorische Genauigkeitsaufgabe).



Abb. 15: Gleichgewichtstraining mit dem Federbrett.

3.3.2. Lernen ohne Gleichgewichtsübungen

In der Zeit, in der die Trainingsgruppe die Sequenzen des oben beschriebenen Gleichgewichtstrainings durchführten, hatten die Probanden der Kontrollgruppe eine Pause.

Diese verbrachten sie passiv bis zur nächsten Lerneinheit der visuo-motorischen Genauigkeitsaufgabe. Sie hatten also eine Ruhezeit in jenen Momenten, während die Probanden der Trainingsgruppe das Gleichgewichtstraining absolvierten.

3.4. Datenanalyse

Für die Datenerfassung der Werte bei der visuo-motorischen Genauigkeitsaufgabe wurde eine Kraftmessplatte verwendet. Der Arm konnte durch eine Handgelenksschiene (orthopädische Schiene für das Handgelenk), die der Proband anziehen sollte und durch einen Kraftaufnehmer (Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, MA, USA) mit der Kraftmessplatte verbunden war, die Linie auf dem Bildschirm ansteuern.

Während der visuo-motorischen Genauigkeitsaufgabe wurde die Differenz beziehungsweise der Abstand von der Ist-Kurve zur Soll-Kurve in Volt aufgezeichnet. Dies ergab für jeden Lern- beziehungsweise Retentionsversuch (fünf Durchgänge pro Lernübung oder Retention-Test) einen Totalwert der Abweichung in Volt. Ein grosser Abstand (hoher Volt-Wert) ergibt einen hohen Fehlerwert und kommt einer schlechteren Leistung gleich, während ein kleiner Abstand (tiefer Volt-Wert) eine bessere Leistung bedeutet.

Aus diesen fünf Werten wurde ein Mittelwert errechnet. Dieser diente dazu, die Differenz zwischen der Soll- und der Ist-Kurve zu ermitteln um damit die entsprechende Hypothese überprüfen zu können.



Abb. 16: Handgelenksschiene mit Verbindung zum Kraftaufnehmer. So kann die Abweichung der Ist - Kurve von der Soll-Kurve (in Volt) erfasst werden.

Beim Stroop-Test wurden die Zeiten in Sekunden für die Bearbeitung der drei Tafeln gestoppt und beim d2-Test wurden die Anzahl der bearbeiteten Items sowie die Anzahl der Fehler gezählt und entsprechend ausgewertet.

3.5. Statistische Analyse

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels SPSS Version 20.0. Für die Analyse der Daten und die Prüfung der Hypothesen wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung (Anova) gewählt. Im Falle signifikanter Werte wurden spezifische Unterschiede anhand Bonferroni-korrigierter t-Tests (Studentische t-Tests) berechnet.

Visuo-motorische Lernaufgabe:

Für die Überprüfung der Hypothese der visuo-motorischen Lernaufgabe wurden die Werte in Volt (Differenz Ist- und Sollwert) zu fünf Messzeitpunkten am ersten Tag, sowie zu je einem Messzeitpunkt zwei Tage und neun Tage nach der Erstmessung zur Auswertung verwendet.

Zur Evaluation, ob sich die Gruppe, die begleitend ein Gleichgewichtstraining durchgeführt hat (Trainingsgruppe), signifikant mehr verbessern konnte als die Kontrollgruppe, wurde eine Varianzanalyse mit sieben Messzeitpunkten gerechnet:

Dies mit dem Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ (Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe) und dem Innersubjektfaktor „Zeitpunkt“ (L1 vs. L2 vs. L3 vs L4 vs. L5 vs. R1 vs. R2) [Gruppe (2) * Zeitpunkte (7)].

In einem zweiten Schritt wurden die fünf Lerneinheiten (L1 – L5 = Test für Lerneffekte), sowie danach die letzte Lerneinheit (L5) mit den beiden Retention-Tests (R1 und R2 = Test für Retention) verglichen.

Das heisst wiederum der Vergleich mit dem Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ (Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe) und dem Innersubjektfaktor „Zeitpunkt“ (L1 vs. L2 vs. L3 vs L4 vs. L5) [Gruppe (2) * Zeitpunkte (5)] einerseits, und andererseits mit dem Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ (Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe) und dem Innersubjektfaktor „Zeitpunkt“ (L5 vs. R1 vs. R2) [Gruppe (2) * Zeitpunkte (3)].

Kognitive Tests (Stroop und d2):

Der Stroop-Test wurde an allen drei Messtagen durchgeführt und der d2-Test wurde am ersten Messtag, vor und nach dem begleitenden Gleichgewichtstraining, von den Probanden absolviert.

Für beide Tests wurden Varianzanalysen mit vier (Stroop-Test) beziehungsweise zwei (d2-Test) Messzeitpunkten gerechnet.

Für den Stroop-Test war der Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ (Kontrollgruppe vs. Interventionsgruppe) und der Innersubjektfaktor „Zeitpunkt“ (M1 vs. M2 vs. M3 vs. M4) [Gruppe (2) * Zeitpunkte (4)].

Beim d2-Test handelte es sich um den Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ (Kontrollgruppe vs. Interventionsgruppe) sowie um den Innersubjektfaktor „Zeitpunkt“ (M1 vs. M2) [Gruppe (2) * Zeitpunkte (2)].

4. Resultate

4.1. Homogenitätsprüfung

Die Normalverteilung beziehungsweise die Homogenität der einzelnen Items und damit die Grundbedingung für ein parametrisches Verfahren wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft.

Für die Messungen bei der visuo-motorischen Lernaufgabe ergab dies folgende Werte L1: $p < 0.57$; L2: $p < 0.91$; L3: $p < 0.85$; L4: $p < 0.96$; L5: $p < 0.96$; R1: $p < 0.74$; R2: $p < 0.81$, die Normalverteilung ist somit für alle Messzeitpunkte gegeben.

Bei der Homogenitätsprüfung der Items des Stroop-Tests zeigten sich durch die Prüfung mittels Kolmogorov-Smirnov-Test folgende Signifikanzwerte:

Für die Tafel 1: M1: $p < 0.65$; M2: $p < 0.76$; M3 $p < 0.73$; M4: $p < 0.35$. Für die Tafel 2 M1: $p < 0.88$; M2: $p < 0.93$; M3 $p < 0.99$; M4: $p < 0.99$. Für die Tafel 3: M1: $p < 0.97$; M2: $p < 0.58$; M3 $p < 0.98$; M4: $p < 0.91$, die Normalverteilung ist demnach für alle Messzeitpunkte bei den drei Testtafeln gegeben.

Beim d2-Test ergab die Prüfung des Items der insgesamt bearbeiteten Zeichen mittels Kolmogorov-Smirnov-Test folgende Signifikanzwerte: 1. Messung: $p < 0.86$; 2. Messung $p < 0.91$. Für das Items der Fehler in % zeigte die Prüfung der Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Test folgende Signifikanzwerte: 1. Messung $p < 0.41$; 2. Messung: $p < 0.52$. Die Normalverteilung ist damit gegeben.

Die Normalverteilung ist für alle geprüften Items gegeben und parametrische Testverfahren (wie beispielsweise Varianzanalyse, studentische t-Test) können zur Prüfung der Hypothesen verwendet werden.

4.2. Hypothesenprüfung

Hypothese 1: Die Leistungssteigerung bei der motorischen Lernaufgabe ist durchschnittlich besser bei jener Gruppe, die begleitend ein Gleichgewichtstraining durchgeführt hat, als bei der Kontrollgruppe ohne Gleichgewichtstraining.

Die Überprüfung durch die Varianzanalyse zeigte, dass bei den Gruppen eine Verbesserung über die Zeit ($p < 0.001$; $F = 9.63$) bestand, die Unterschiede zwischen den zwei Gruppen waren jedoch zu keinem der einzelnen Messzeitpunkte signifikant ($p < 0.29$; $F = 1.24$). Auf folgender Grafik (Abb. 16) sind die Mittelwerte der Abweichung von der Soll-Kurve von beiden Gruppen zu den einzelnen Messzeitpunkten zu sehen:

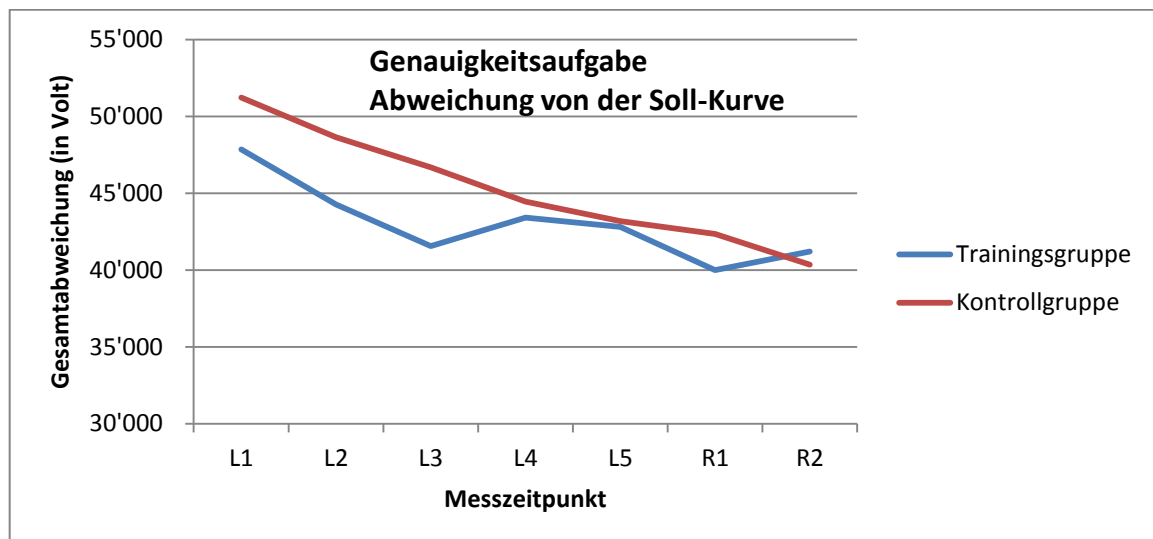


Abb. 16: Gesamtabweichung von der Ist-zur Soll-Kurve bei der Trainingsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe (gemessen in Volt) während den einzelnen Messzeitpunkten: L1 – L5 am ersten Messtag, R1 am zweiten Messtag (2 Tage nach Erstmessung) und R2 am dritten Messtag (9 Tage nach Erstmessung).

Bei der Analyse im Vergleich von den fünf Messzeitpunkten (L1 – L5) des ersten Messtages zeigte sich mittels der Überprüfung durch die Varianzanalyse eine signifikante Verbesserung über die Zeit ($p < 0.001$; $F = 7.99$), jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p < 0.23$; $F = 1.44$). Die Varianzanalyse mit drei Messzeitpunkten (L5 vs. R1 vs. R2) zeigte keine Verbesserung über die Zeit ($p < 0.26$; $F = 1.38$), sowie keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p < 0.67$; $F = 0.41$) (vgl. Abb. 17).

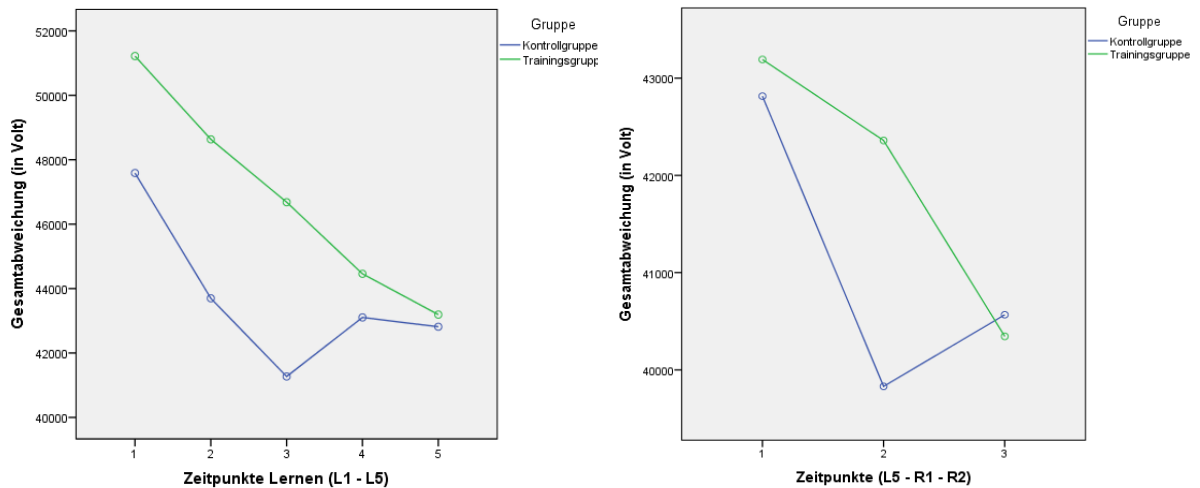


Abb. 17: Abweichung der Ist-von der Soll-Kurve bei der Trainingsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe (gemessen in Volt) während den einzelnen Messzeitpunkten: L1 – L5 am ersten Messtag (linke Grafik) sowie L5, R1 und R2 (rechte Grafik).

Weiter wurden in einem zusätzlichen Schritt von den insgesamt sieben Lerneinheiten (wobei die Kurve fünfmal nachgefahren wurde) nur jene drei Versuche in die Auswertung miteinbezogen, bei denen die geringste Abweichung von der Soll-Kurve bestand. Dies mit dem Ziel, Ausreisserwerte, die beispielsweise aus Anfangsschwierigkeiten oder mangelnder Konzentration entstanden sind, möglichst auszuschliessen.

Die Analyse mit den drei geringsten Gesamtabweichungen (von L1 – L5, R1 und R2) zeigte ebenfalls eine Verbesserung über die Zeit ($p < 0.001$; $F = 16.16$) und keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p < 0.56$; $F = 0.82$). Aufgrund dieser unterschiedlichen Überprüfungen wird die Hypothese 1 verworfen.

Hypothese 2: *Die Leistungssteigerung im Stroop-Test ist im Durchschnitt besser bei jener Gruppe, die ein begleitendes Gleichgewichtstraining durchgeführt hat, als bei der Kontrollgruppe ohne Gleichgewichtstraining.*

Zur Prüfung dieser Hypothese wurde eine Varianzanalyse für die drei Test-Tafeln (siehe Kapitel 3.1.2) gerechnet. Dabei wurden die Leistungen der Probanden (der beiden Gruppen) bei den drei Tafeln des Stroop-Tests miteinander verglichen. Bei keiner der drei Test-Tafeln ist die Prüfung mittels Varianzanalyse mit vier Messzeitpunkten signifikant

ausgefallen, das heisst, die Leistungen in diesem Test (der beiden Gruppen) haben sich zu keinem Zeitpunkt signifikant unterschieden.

Die einzelnen, gerechneten Varianzanalysen zeigten folgende Werte:

Test-Tafel 1: Signifikante Verbesserung über die Zeit ($p < 0.001$; $F = 22.17$) und kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($p < 0.72$; $F = 0.45$).

Test-Tafel 2: Signifikante Verbesserung über die Zeit ($p < 0.001$; $F = 28.96$) und kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($p < 0.29$; $F = 1.24$).

Test-Tafel 3: Signifikante Verbesserung über die Zeit ($p < 0.001$; $F = 31.45$) und kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($p < 0.92$; $F = 0.16$).

Für die Benennung der Farben auf der Farbtafel benötigten die Probanden der Kontrollgruppe im Durchschnitt 66.4 Sekunden, während die Probanden der Trainingsgruppe bei der Eingangsmessung zu Beginn der Untersuchung im Durchschnitt 60.74 Sekunden benötigten. Auf nachfolgender Tabelle 2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen zur Veranschaulichung exemplarisch für die Test-Tafel 3 während den einzelnen Messzeitpunkten, aufgeteilt in Kontroll- und Trainingsgruppe, ersichtlich:

Tab. 2 : Vergleich Mittelwerte und Standardabweichungen Stroop-Test (Tafel 3) bei der Kontroll- und der Trainingsgruppe.

| Gruppe | Messzeitpunkt | Anzahl (N) | Mittelwert (in s) | Standardabweichung (in s) |
|-----------------|---------------------------------------|------------|-------------------|---------------------------|
| Kontroll | Vor dem Gleichgewichtstraining | 10 | 66.4 | 10.05 |
| Training | | 11 | 60.73 | 9.08 |
| Kontroll | Nach dem Gleichgewichtstraining | 10 | 60.4 | 9.43 |
| Training | | 11 | 56.36 | 8.82 |
| Kontroll | Retention 1 (2 Tage nach Erstmessung) | 10 | 56.06 | 8.64 |
| Training | | 11 | 52.09 | 6.27 |
| Kontroll | Retention 2 (9 Tage nach Erstmessung) | 10 | 55.3 | 8.62 |
| Training | | 11 | 50.45 | 7.69 |

Die beiden Gruppen haben sich mit zunehmender Dauer der Messung zu den einzelnen Zeitpunkten tendenziell eher angeglichen (vgl. Tab. 2) ohne sich jedoch signifikant zu unterscheiden. Aus diesem Grund wurde die Hypothese 2 nicht bestätigt.

Hypothese 3: Bei allen Probanden findet beim Stroop-Test (Tafel 3) durch die Testwiederholung eine Leistungssteigerung statt, mit und ohne begleitendes Gleichgewichtstraining.

Die Analyse mittels der Varianzanalyse (mit vier Messzeitpunkten) zeigte eine Verbesserung über die Zeit ($p < 0.001$; $F = 31.45$). Das bedeutet, dass sich die Probanden beider Gruppen durch die Testwiederholung signifikant verbessert haben (vgl. Tabelle 2). Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind nicht signifikant ($p < 0.92$; $F = 0.16$).

Die Verbesserung, unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit (bei der Test-Tafel 3; d.h. das Farbwort soll nicht gelesen, sondern die Schreibfarbe soll genannt werden) ist ein Hinweis darauf, dass alle Probanden Fortschritte beim Test gemacht haben, unabhängig davon, ob begleitend ein kurzzeitiges Gleichgewichtstraining durchgeführt wurde oder nicht. Es gab also einen Übungseffekt der Testleistung bei den Probanden.

Somit kann die Hypothese 3 bestätigt werden. Alle Probanden haben sich im Schnitt, unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit (mit oder ohne begleitendes Gleichgewichtstraining) bei der Test-Tafel 3 des Stroop-Tests signifikant verbessert.

Hypothese 4: Die Gesamtbearbeitungszahl (quantitative Leistung) und die prozentuale Fehlerrate beim d2-Test verbessert sich bei jener Gruppe, die ein begleitendes Gleichgewichtstraining durchgeführt hat im Durchschnitt mehr, als bei der Kontrollgruppe ohne Gleichgewichtstraining.

Der d2-Test wurde erstmals ganz zu Beginn und die Wiederholung am Ende des ersten Messtages absolviert, nachdem die Probanden die visuo-motorische Lernaufgabe geübt hatten und die Trainingsgruppe das begleitende Gleichgewichtstraining absolviert hatte (wie unter Kapitel 3.3.1. beschrieben).

Bezüglich der Gesamtbearbeitungszahl (alle Zeichen, die in der vorgegebenen Zeit bearbeitet wurden) konnte bei den Probanden eine Verbesserung über die Zeit ($p < 0.001$;

$F = 78.13$) festgestellt werden. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind jedoch nicht signifikant ($p < 0.08$; $F = 3.24$).

Auf den Abb. 18 und 19 sind die Leistungen der Probanden (unterteilt in jene der Trainings- und der Kontrollgruppe) im Pre- und im Posttest grafisch dargestellt.

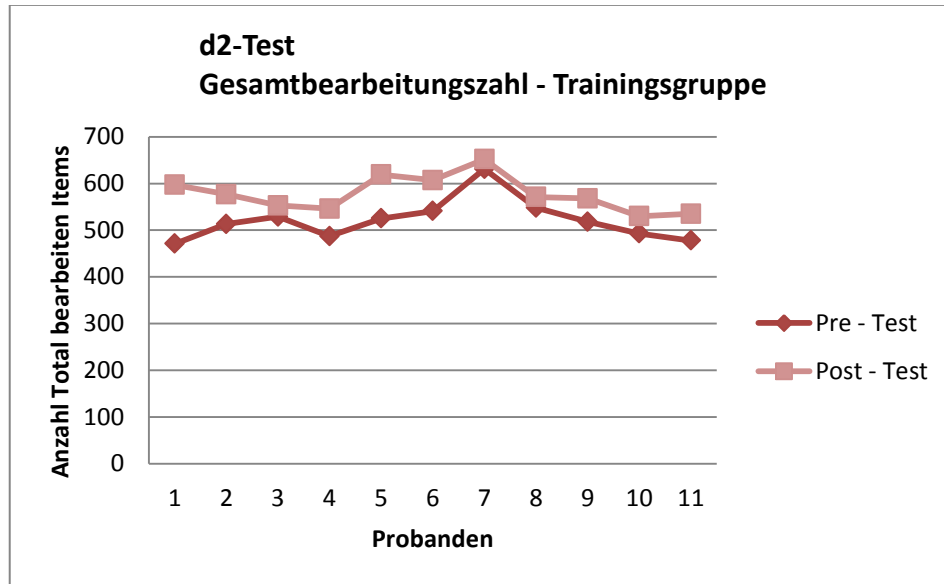


Abb. 18: Anzahl der total bearbeiteten Items im Pre- und Post-Test bei den Probanden der Trainingsgruppe.

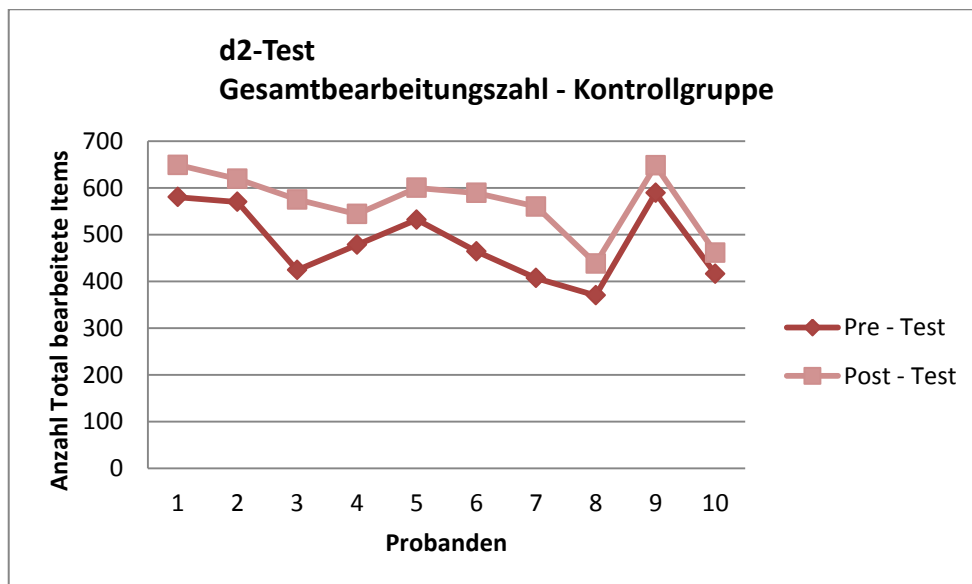


Abb. 19: Anzahl der total bearbeiteten Items im Pre- und Post-Test bei den Probanden der Kontrollgruppe.

Fast alle Probanden haben sich im d2-Test verbessert oder ihre Leistung halten können (vgl. Abb. 18 und 19).

Die Fehler in % werden im Verhältnis zur Gesamtzahl der total bearbeiteten Zeichen errechnet. Zur Prüfung dieser Hypothese wurde eine Varianzanalyse mit zwei Messzeitpunkten gerechnet.

Die Varianzanalyse zeigte, dass bei den Probanden beider Gruppen keine signifikante Verbesserung über die Zeit ($p < 0.14$; $F = 2.39$) erreicht wurde. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind ebenfalls nicht signifikant ($p < 0.33$; $F = 0.99$).

Nachfolgend sind in Abbildung 20 und 21 die Anzahl Fehler in Prozent % im Verhältnis zur Gesamtbearbeitungszahl dargestellt. Die Probanden konnten sich beim Post – Test im Vergleich zum Pre-Test (zu Beginn der Messungen am ersten Messtag) in den meisten Fällen das Niveau halten oder sich verbessern.

Die Verbesserungsleistung der beiden Gruppen unterschieden sich im Durchschnitt – wie oben erwähnt – nicht signifikant voneinander:

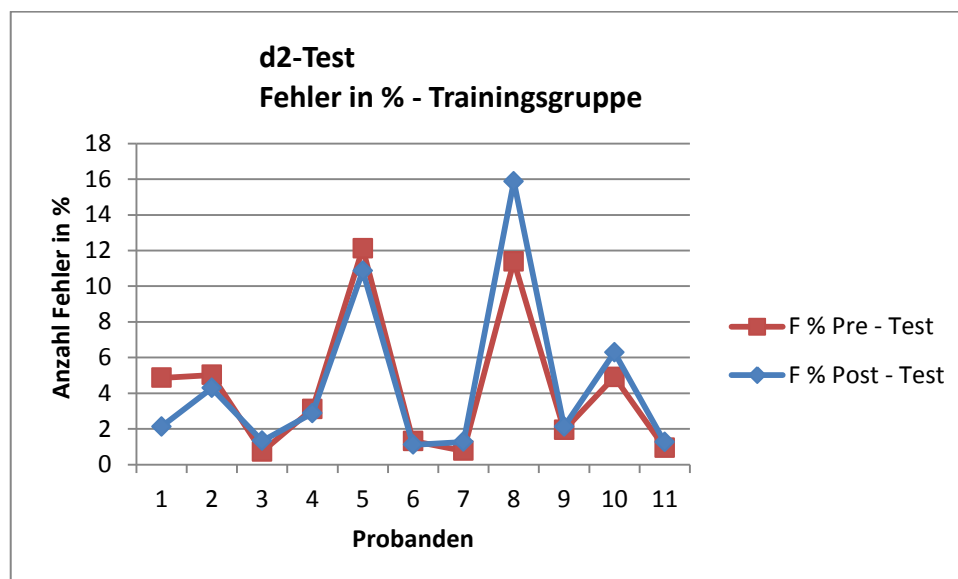


Abb. 20: Fehlerrate (in %) in Proportion zu allen bearbeiteten Items bei der Trainingsgruppe (mit Gleichgewichtstraining) im Pre- und im Post-Test.

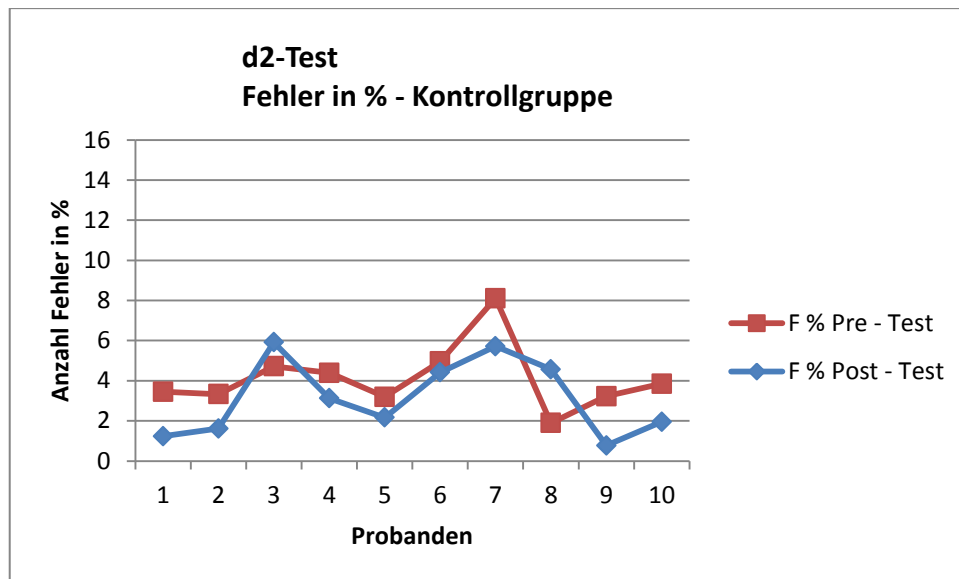


Abb. 21: Fehlerrate (in %) in Proportion zu allen bearbeiteten Items bei der Kontrollgruppe (ohne Gleichgewichtstraining) im Pre- und im Post-Test.

6 von 11 Probanden der Trainingsgruppe haben sich (zum Teil leicht) verbessert (Abb. 20), im Vergleich dazu haben sich 8 von 10 Probanden der Kontrollgruppe im Post-Test, im Vergleich zum Pre-Test, verbessert (Abb. 21).

Durch das begleitende Gleichgewichtstraining konnte demnach im Durchschnitt keine signifikante Steigerung der Gesamtzahl der bearbeiteten Items und keine signifikante Reduktion der Fehlerrate in % im Vergleich zur Kontrollgruppe erreicht werden. Aus diesem Grund wird die Hypothese 4 verworfen.

5. Diskussion und Schlussfolgerung

In der heutigen Gesellschaft spielt die kognitive Leistungsfähigkeit eine grosse und oft zentrale Rolle. Meist geht es bereits im frühen Kindesalter darum, leistungsfähig zu sein oder zumindest gute Voraussetzungen dafür zu schaffen.

Die positiven Wirkungen der sportlichen, körperlichen Aktivität auf zahlreiche gesundheitliche Parameter des Menschen – wie unter anderem auf die kognitive Leistungsfähigkeit – sind bekannt und konnten mittels unterschiedlichen Studien nachgewiesen werden (Hillman et al., 2008).

Die Mehrheit an Untersuchungen konnte positive Auswirkungen von sportlichem Training im aeroben Bereich auf die Kognition nachweisen (Wegner et al., 2012). In einigen Studien konnten positive Effekte im Bereich des Krafttrainings und Koordinationstrainings zeigen (Nicolai & Woznik, 2012; Voelcker-Rehage et al., 2011). Durch ein einmaliges, hochintensives Radtraining konnte ebenfalls ein positiver Einfluss festgestellt werden (Roig et al., 2012). Zudem konnten Studien, die den Einfluss von Tai Chi untersuchten, nachweisen, dass sich die Schlafqualität verbesserte (Chang et al., 2010). Die Autoren der zuletzt genannten Studie gehen davon aus, dass sich dadurch indirekt auch die kognitive Leistungsfähigkeit verbessert.

Bei der vorliegenden Untersuchung ging es darum zu prüfen, ob ein kurzzeitiges, akutes Gleichgewichtstraining ähnlich gute Effekte und Auswirkungen auf das Lernen und die Konsolidierung einer Genauigkeitsaufgabe und auf die kognitive Leistungsfähigkeit haben könnte, wie bereits nachgewiesene Effekte durch aerobes Training, Krafttraining oder durch ein einmaliges, hochintensives Training.

Das Gleichgewichtstraining hat mit Tai Chi gemeinsam, dass es sich um eine physische Aktivität mit niedrigem Aktivitätsniveau (für den Herzkreislauf) handelt. In beiden Trainingsformen spielen Körperspannung und Konzentration in der Ausführung eine wichtige Rolle.

Das Gleichgewichtstraining wurde zu einem einmaligen Zeitpunkt (a vier Trainingssequenzen) durchgeführt. Postmessungen bei der visuo-motorischen Lernaufgabe und bei zwei ausgewählten kognitiven Tests wurden nach dem Training, der Stoop-Test zudem zwei Tage und neun Tage nach dem Training durchgeführt.

5.1. Visuo-motorische Lernaufgabe

In der vorliegenden Untersuchung konnten keine positiven, fördernden Wirkungen auf das Lernen und auf die Konsolidierung der visuo-motorischen Lernaufgabe, begleitet durch ein kurzzeitiges, begleitendes Gleichgewichtstraining, nachgewiesen werden. Zwar zeigten sich Leistungssteigerungen bei der Lernaufgabe, diese wurden allerdings auch bei den Probanden der Kontrollgruppe gefunden und sind aus diesem Grund eher auf einen Übungseffekt zurückzuschliessen.

Praktisch alle Probanden haben sich in den einzelnen Messungen und mit zunehmender Dauer der Untersuchung verbessern können. Die Retention und damit verbunden die Konsolidierung der Lernaufgabe konnte durch das begleitende Gleichgewichtstraining nicht signifikant stärker verbessert werden. Bei der Studie von Roig et al. (2012) konnte nachgewiesen werden, dass vor allem die Konsolidierung der Lernaufgabe, begleitet durch ein hochintensives Radtraining, sei es vor oder nach dem Erlernen der Lernaufgabe, verbessert werden konnte. Vor allem wenn das Training nach der Lernaufgabe durchgeführt wurde, zeigte sich eine verbesserte Retentionsleistung. Es handelte sich hierbei um ein einzelnes, hochintensives Training, im Gegensatz zu den vier Gleichgewichtstrainings-Sequenzen in einer – für den Herzkeislauf – im Normalfall geringen Intensität.

Psychologische Theorien gehen davon aus, dass ein angemessenes Aktivitätslevel des Trainings eine Erregung bewirkt, was die Bereitstellung von mentalen Ressourcen optimiert und kognitive Prozesse und die Konsolidierung im Gedächtnis fördert (Audiffren et al., 2008). Demnach wurde in der vorliegenden Studie eine verbesserte Lernleistung in jener Gruppe erwartet, die begleitend zur visuo-motorischen Lernaufgabe ein kurzzeitiges Gleichgewichtstraining durchgeführt hat.

Biologische Ansätze schreiben diese Verbesserungen einer erhöhten Konzentration von Neurotransmitter, wie Adrenalin und dem vom Gehirn während des Trainings abgeleiteten BDNF zu, diesem wiederum verbessert das Lernen und die Konsolidierung der Lernaufgabe (Gomez-Pinilla et al., 2008).

Die unterschiedlichen und zum Teil widersprüchlichen Resultate in einzelnen Untersuchungen werden begründet in Unterschieden der Trainings, in unterschiedlichen Zeitabständen der Messung zum Training, Unterschieden im Zeitpunkt der Leistungsmessung und in unterschiedlichen Stichproben (Etnier et al., 1997; Lambourne & Tomporowski, 2010).

Im Vergleich zur Untersuchung von Roig et al. (2012) handelte es sich bei der vorliegenden Studie um Probanden des gleichen Alters, jedoch ist ein Unterschied bei der Intensität und Dauer des Trainings auszumachen: Bei der Studie von Roig et al. (2012) handelt es sich um ein 3 x 3 Minuten hochintensives Training (mit 2 Min. Warm-up zuvor) während beim Gleichgewichtstraining zweimal 3 x 30 Sekunden und zweimal 3 x (2 x 15) Sekunden trainiert wurde.

Ein möglicher Erklärungsansatz könnte sein, dass zwar durch das Gleichgewichtstraining Konzentration und mentale Aufmerksamkeit benötigt wurde, dass jedoch die Konzentration der Stoffe wie BDNF oder Adrenalin nicht oder nicht ausreichend erhöht wurden – jedenfalls hatte es keinen Einfluss auf die Testleistungen. Eventuell könnten, da es sich beim Gleichgewichtstraining um ein verhältnismässig geringes Aktivitätsniveau handelt, Trainings über einen längeren Zeitraum eher Effekte zeigen.

Roig et al. (2012) betonen, dass es unsicher ist, ob die Verbesserung in der Konsolidierung auch auf andere, komplexere Bewegungsaufgaben übertragen werden kann und inwieweit sich dies auf eine Langzeit-Konsolidierung auswirkt. Die visuo-motorische Lernaufgabe der vorliegenden Studie war im Vergleich zu jener von Roig et al. (2012), die aus zwei Sinuskurven bestand, komplexer.

Bei der Kampfkunstform Tai Chi spielt die aufmerksame Körperkontrolle eine wichtige Rolle (Chang et al., 2010), wie dies auch bei einem Gleichgewichtstraining der Fall ist. Das Gleichgewichtstraining hat im Vergleich zum Tai Chi den Vorteil, dass es sehr einfach, praktisch zu jedem Zeitpunkt, an jedem Ort und auch bei stark begrenzten Platzverhältnissen durchgeführt werden kann.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Leistungsfortschritte im Training Veränderungen in neuronalen Bewegungsrepräsentationen herbeiführen, sowie beispielsweise ein Geigenspieler eine Vergrößerung des somato-sensorischen Cortex für die linken Finger, mit denen er die Seiten des Instruments greift, aufweist. Beck & Wagner-Hans (2012) fassen zusammen, dass die synaptische Plastizität in engem Zusammenhang mit den motorischen Lernvorgängen steht.

Die beiden Gruppen unterscheiden sich in keinem der Vergleiche signifikant voneinander. Somit kann nicht gesagt werden, dass sich das kurzzeitige Gleichgewichtstraining (messbar) auf die Leistung in der visuo-motorischen Lernaufgabe ausgewirkt hätte.

5.2. Kognitive Tests

In verschiedenen Untersuchungen konnten Verbesserungen der kognitiven Leistungsfähigkeit im Zusammenhang mit einer verbesserten aeroben Fitness gefunden werden, jedoch handelt es sich meist um geringe Effektstärken, wie verschiedene Metaanalysen aufzeigten (Colcombe & Kramer, 2003; Etnier et al., 1997).

Dass es Untersuchungen gibt, bei denen keine solchen Hinweise gefunden und andere, bei denen Effekte nachgewiesen werden konnten wird in Unterschieden beim Training, zeitlichem Abstand und unterschiedlichen kognitiven Messungen beziehungsweise Tests begründet (Etnier et al., 1997; Lambourne & Tomporowski, 2010).

Durch die Trainingsintervention von Tai Chi konnte verschiedentlich mittels Studien nachgewiesen werden, dass sich sekundäre Variablen – die einen Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit haben können, wie beispielsweise die Schlafqualität – verbesserten. Im Review-Artikel von Chang et al. (2010) gehen die Autoren davon aus, dass die Verbesserung von sekundären Parametern einen positiven Effekt auf kognitive Prozesse haben *können*. Allenfalls könnte in einer weiteren Untersuchung den Einfluss von Gleichgewichtstraining auf eben solche sekundäre Parameter wie die Schlafqualität untersucht werden.

Die kognitive Leistungsfähigkeit wurde bei der vorliegenden Studie mit Tests gemessen, die in diesem Forschungsgebiet laut unterschiedlichen Metaanalysen mehrfach für die Evaluation von Leistungssteigerungen verwendet wurden (Wegner et al., 2012). Akute körperliche Betätigung und Belastung können die kognitive Leistung verbessern. Wenig ist bisher jedoch über zugrundeliegende Wirkmechanismen, die die kognitive Leistung beeinflussen und steigern können, bekannt. Eine zentrale Annahme im Übersichtsartikel von Wegner et al. (2012) besteht darin, dass die körperliche Aktivität zugleich die Ausschüttung von Steroidhormonen beeinflusst. Die veränderte Hormonkonzentration wirkt sich positive auf die auf kognitive Leistung aus. Anhand der vorhandenen Literatur lässt sich sagen, dass für einen signifikanten Cortisolanstieg die Bewegung im Rahmen von 60 – 70 % der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit durchgeführt werden sollte (Hackney et al., 2005). Tomporowski (2003) ist der Meinung, dass eine Leistungsverbesserung nach (akuter) körperlicher Belastung ab der Intensität von ungefähr 40 % der VO_{2max} eintritt.

Man kann davon ausgehen, dass dieses Aktivitätslevel während des Gleichgewichtstrainings in der vorliegenden Untersuchung nicht erreicht wurde. Dies

heisst jedoch nicht zwingend, dass nicht auch ein Effekt hätte gefunden werden können. In diesem Bereich gibt es noch verschiedene offene Fragen.

In einer Langzeituntersuchung konnten bessere Effekte hinsichtlich kognitiver Leistung eines Krafttrainings im Vergleich zu einer Gleichgewichtstrainingsgruppe/Tonusgruppe gefunden werden. Bei dieser Langzeitstudie (über 12 Monate) war die Gleichgewichtstraininggruppe die Kontrollgruppe. Es gab also keinen zusätzlichen Vergleich zwischen Krafttrainingsgruppe, Gleichgewichtstraininggruppe und einer Kontrollgruppe ohne Trainingsinterventionen (Beattie et al., 2010). Es ist durchaus möglich, dass eine Differenz bestehen würde im Vergleich zwischen einer „passiven“ Kontrollgruppe und der Gleichgewichtstraininggruppe. Im Vergleich zwischen Kraft- und Gleichgewichtstraining scheint das Krafttraining bezüglich Leistungssteigerung in exekutiven, kognitiven Funktionen überlegen zu sein. Dies ist das Ergebnis der erwähnten Studie mit 155 Probanden (Frauen im Alter von 65 – 75 Jahren) (Beattie et al., 2010).

Die kognitiven Tests wurden in der vorliegenden Untersuchung bei allen Teilnehmern möglichst gleich durchgeführt. Bei den beiden Tests verhielt es sich so, dass sich in der Regel alle Teilnehmer verbessert haben. Es kann von einem gewissen Übungseffekt gesprochen werden, da sich die Probanden durch Testwiederholung verbessern konnten.

Eine mögliche (Mit-)Erklärung, dass in der vorliegenden Studie keinen Einfluss durch ein kurzzeitiges Gleichgewichtstraining vorliegt, könnte daran liegen, dass die Gehirnfunktionen vor allem in sehr jungen (Kindes- und Jugendalter) und in hohem Alter besonders sensibel sind und Veränderungen ausgesetzt sind. Die Probanden dieser Studie waren mit einem durchschnittlichen Alter von 23,9 Jahren nicht Teil dieser Altersgruppe. Für künftige Studien könnte es sinnvoll sein, ähnliche Trainingsinterventionen bei anderen Populationen zu untersuchen. Es ist möglich, dass dieselben Trainings bei unterschiedlichen Altersgruppen unterschiedliche Auswirkungen haben können.

Bei Kindern und Jugendlichen beispielsweise gilt das Gehirn als sehr plastisch, was einen vermuten lassen kann, dass dies grössere bewegungsinduzierte Veränderungen bewirken kann (Windisch et al., 2011).

Der positive Einfluss von sportlicher Aktivität auf verschiedene gesundheitliche Parameter (Physis und Psyche) des Menschen ist weitgehend unbestritten und allgemein anerkannt. Neben sportlicher Betätigung gibt es zahlreiche andere Tätigkeiten, die die Gesundheit des Menschen – und als Teil davon seine kognitiven Fähigkeiten – positiv unterstützen und fördern können. Als Beispiel können das Musizieren oder Meditieren genannt werden. Auf

andere Aktivitäten, die möglicherweise die Kognition positiv beeinflussen können, wurde jedoch in dieser Untersuchung nicht eingegangen, da es den Rahmen gesprengt hätte.

Es ist durchaus möglich, dass nicht bei allen Menschen dieselben Aktivitäten die kognitiven Funktionen fördern und leistungssteigernd wirken.

5.3. Gütekriterien

Bezüglich interner Validität lassen nicht alle Resultate eine stringent kausale Interpretation zu. Es war schwer zu kontrollieren und zu beeinflussen, was die Probanden sonst noch für ihre kognitive und motorische Leistungsfähigkeit während der Untersuchung unternahmen. Somit war es nicht einfach, den effektiven Einfluss des kurzzeitigen Gleichgewichtstrainings auf jene Faktoren zu überprüfen und direkte Rückschlüsse ziehen zu können, vor allem was die Retention-Tests anbelangt.

Im Bereich der Diagnostik Tests nicht so kurz nacheinander durchgeführt, wie es bei der vorliegenden Untersuchung der Fall war (das heisst im Abstand von ca. 1 - 1 ¼ Std.). Allerdings wurde dies bei ähnlichen Untersuchungen schon durchgeführt, beispielsweise vor und nach einem 10 minütigen Training (Budde et al., 2008). Ebenfalls gilt zu erwähnen, dass sich bei der vorliegenden Untersuchung die Probanden beim zweiten Messzeitpunkt des d2-Tests nicht signifikant verbessert haben (keinen Übungseffekt).

Durch die verhältnismässig lange Testdauer beim ersten Termin kann es sein, dass die Ermüdung eine gewisse Rolle gespielt hat, beziehungsweise dass die Pause (die die Kontrollgruppe hatte) erholend wirkte oder sich zumindest eher positiv auswirkte. Die visuo-motorische Lernaufgabe erforderte eine intensive visuelle Aufmerksamkeit. Die Dauer der Messung war für alle Probanden ungefähr gleich lang.

Bezüglich externer Validität kann gesagt werden, dass die Ergebnisse nur teilweise generalisierbar und somit nicht direkt auf die Gesamtpopulation übertragbar sind. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer und Teilnehmerinnen ist mit 23.9 Jahren relativ tief. Wie sich ein ähnliches Training bei Menschen einer anderen Altersgruppe auswirken würde, kann nicht vorausgesagt werden.

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine anfallende Stichprobe. Das heisst, dass es nicht klar ist, welche Art von Stichprobe durch die Teilnehmer repräsentiert wird. Durch die freiwillige Teilnahme entsteht eine Verzerrung und die Schlussfolgerungsvalidität verringert sich.

5.4. Stärken und Schwächen

Als Stärke dieser Untersuchung kann gewertet werden, dass die Gruppe, die beim Lernen ein begleitendes Gleichgewichtstraining absolviert hatte, mit einer Kontrollgruppe verglichen wurde. Ein weiterer positiver Aspekt besteht darin, dass die Probanden absolut zufällig (randomisiert) in die beiden Gruppen eingeteilt wurden. Es handelte sich einerseits um Sportstudenten und andererseits um Studenten von unterschiedlichen, beliebig anderen Studienrichtungen, was als Pluspunkt zu werten ist. Die mehreren Messzeitpunkte mit Retention – Test 1 und 2 waren hilfreich, um den Effekt eines kurzzeitigen Trainings etwas differenzierter zu überprüfen und um zu verifizieren, wie sich ein solches Training auf die Konsolidierung einer gelernten Aufgabe auswirkt.

Als Limitationen dieser Studie können verschiedene Einflüsse genannt werden, die nicht oder nur teilweise kontrolliert werden konnten: Was die Probanden in der Zeitspanne der Studie (das heisst während den neun Tagen) unternahmen, um ihre Kognition und ihre Leistungsfähigkeit zu steigern oder hoch zu halten, konnte nicht geprüft oder beeinflusst werden.

Eine weitere Limitation ist zudem die relativ niedrige Probandenanzahl. Da jedoch keine Tendenz festzustellen war, beziehungsweise bei Probanden der Kontrollgruppe teilweise gar eine höhere Leistungssteigerung sichtbar war, wurde vorerst darauf verzichtet, die Probandenanzahl zusätzlich zu erhöhen.

Eine Limitation der Untersuchung liegt auch in der Auswertung der visuo-motorischen Lernaufgabe: Da es sich um eine relativ komplexe Kurve handelte (vgl. Abb. 9), die nachgefahren werden sollte, kam es schnell zu grösseren Abweichungen – dies auch im Falle wenn sich ein Proband stark bemühte. So kann es sein, dass eine Differenz von dem absolut willkürlichem Nachfahren (ohne Bemühung) und einem seriösen Nachfahren (mit Bemühung) relativ gering sein kann und der Zufall in den Resultaten eine relativ grosse Rolle spielt.

Einige Probanden bemühten sich, die Kurve „von der Form her“ zu decken. Das bedeutet, dass sie zwar in der Lage waren, die Form der Soll-Kurve zu produzieren, jedoch hatten sie dabei einen kleinen zeitlichen Versatz. Somit hatten jene Probanden zwar die Form der Kurve erlernt, in der Endabrechnung hatten sie sich jedoch (gemessen in der Gesamtdistanz) nur wenig verbessert, da die Abweichung vom Sollwert nicht zwingend stark abnahm.

5.5. Ausblick

In künftigen Studien könnte es interessant sein, einerseits etwas komplexere Gleichgewichtsübungen durchzuführen und andererseits Einflüsse eines langzeitigen Gleichgewichtstrainings zu untersuchen. Eine Möglichkeit wäre die Kurve der visuo – motorischen Lernaufgabe etwas zu vereinfachen beziehungsweise etwas eindeutiger zu gestalten. Das heisst, dass zwischen zufälligem Nachfahren oder von der Form her und korrektem und gezieltem Nachfahren eine möglichst eindeutige Differenz entsteht.

Möglich ist ausserdem, dass sich ein Gleichgewichtstraining nicht bei allen Probanden gleich auswirkt. Es kann sein, dass nicht die gleichen sportlichen Trainingsformen und -aktivitäten für jeden Menschen bezüglich Lernen und Kognition leistungssteigernd und leistungsfördernd sind. In diesem Sinne könnten Untersuchungen bei sehr grossen Stichproben oder Single Case Studies über einen längeren Zeitraum Sinn machen. Dafür bräuchte es differenzierte Untersuchungen sowie Trainingsinterventionen über einen längeren Zeitraum.

Bisher lag der Fokus in jenem Forschungsbereich mehrheitlich darin, den Einfluss von aerober Fitness von Trainingsinterventionen zu untersuchen. In einigen Untersuchungen konnten Effekte auch durch andere Trainingsformen gezeigt werden. Es könnte interessant sein zu untersuchen, inwieweit andere sportliche Aktivitäten einen ähnlichen Einfluss auf die menschliche, kognitive Leistungsfähigkeit sowie auf das Lernverhalten, beziehungsweise auf die Konsolidierung einer gelernten Bewegungsaufgabe bewirken können.

Weiterführende Untersuchungen könnten Hinweise über mögliche, eventuell längerfristige Auswirkungen eines Gleichgewichtstrainings liefern.

Neben sportlicher Aktivität können zahlreiche andere Einflüsse, wie beispielsweise Entspannungsverfahren, Musik, Ernährung oder - wie weiter oben erwähnt - die Schlafqualität, kognitive Kapazitäten und Leistungsfähigkeit beeinflussen. Faktoren wie Müdigkeit oder Stress beeinträchtigen diese Kapazitäten ebenso. Auch die Uhrzeit oder der Messung/Testung vorangehende Belastungen spielen eine Rolle.

Bei den Studien mit aerobem Training wurde jeweils betont, dass eine mittlere Intensität der körperlichen Aktivität von Wichtigkeit sei. Dieser Aktivitätslevel ist beim Gleichgewichtstraining in der Regel nicht zu erreichen, das heisst es handelt sich gesamthaft um eine Aktivität im tiefen Aktivitätsbereich für den Herzkreislauf. Dies wäre neben den verschiedenen Limitationen ein möglicher Erklärungsansatz, dass keine Effekte gefunden werden konnten. Das heisst, dass das Aktivitätsniveau während des

Gleichgewichtstrainings gesamthaft etwas zu niedrig war. Ebenfalls ist es möglich, dass die Übungen verhältnismässig einfach waren für die Probanden und eher wenig Aufmerksamkeit erforderten.

Es scheint sich so zu verhalten, dass ein kurzzeitiges Gleichgewichtstraining zumindest bei dieser Altersgruppe (junge Erwachsene) weder einen Einfluss auf das Lernen einer visuo-motorischen Lernaufgabe, noch auf die Leistungsfähigkeit bei zwei kognitiven Tests hat. Weitere Untersuchungen werden nötig sein, um dies differenzierter zu untersuchen.

Ein tiefgreifenderes Verständnis über die Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit, beeinflusst durch verschiedene Formen von physischer Aktivität, kann wichtig sein für Prävention, Förderung und Rehabilitation mit Individuen aus allen Altersgruppen (Voelcker-Rehage et al., 2011).

In einer weiterführenden Untersuchung könnte bei der visuo-motorischen Lernaufgabe eine einfachere Linie gewählt werden (vgl. Roig et al., 2012), so dass ein eindeutiger Unterschied und eine klarere Differenz bei einem gezielten Nachfahren im Vergleich zum Nachfahren von der Form her resultiert.

Über Fragen darüber, welches das optimale Alter ist, um kognitive Fähigkeiten nachhaltig zu fördern und welches ideale Formen und Dauer von Trainings sind, können ebenfalls künftige Studien wertvolle Hinweise liefern.

Ein wichtiger Faktor bei Untersuchungen könnte zudem die Beachtung anderer Faktoren, wie beispielsweise Lebensstil, Ernährung, sozio-ökonomische Faktoren und deren Einflüsse auf Kognition und Gehirnaktivitäten sein (Hillman et al., 2008). Dies würde erlauben, den Einfluss von spezifisch sportlicher Aktivität noch differenzierter zu prüfen und Indikationen für unterschiedliche Altersgruppen gezielter formulieren und einsetzen zu können.

6. Literatur

- Adams, J. A. (1987). Historical Review and Appraisal of Research on the Learning, Retention, and Transfer of Human Motor Skills. *Psychol Bull*, 101, 41 – 74.
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D. & Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta psychologica*, 129(3), 410 – 419.
- Bäumler, G. (1985). *Farbe-Wort-Interferenztest (FWIT) nach J. R. Stroop*. Göttingen: Hogrefe.
- Beattie, B. L., Ashe, M. C. & Handy, T. C. (2010). Resistance Training and Executive Functions. *Arch intern Med*, 170(2), 170 – 178.
- Beck, F. & Wagner-Hans, M. (2012). Dopamin in der Sporthalle. Motorisches Lernen aus einer neurowissenschaftlichen Perspektive - Relevanz für den Sportunterricht. *Sportunterricht*, 61(7), 204 – 209.
- Black, J. E., Isaacs, K. R., Anderson, B. J., Alcantara, A. A. & Greenough, W. T. (1990). Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis, in cerebellar cortex of adult rats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87(14), 5568 – 5572.
- Blake, H. & Hawley, H. (2012). Effects of Tai Chi exercise on physical and psychological health of older people. *Current aging science*, 5(1), 19 – 27.
- Brickenkamp, R. (1994a). *Test d2. Aufmerksamkeits-Belastungs-Test*. Göttingen: Hogrefe.
- Brickenkamp, R. (1994b). *Test d'attention concentrée d2*. Göttingen: Hogrefe.
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrabyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P. & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience letters*, 441(2), 219 – 223.
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Buck, S. M. & Erwin, H. E. (2007). Physical fitness and academic achievement in third- and fifth-grade students. *Journal of sport & exercise psychology*, 29(2), 239 – 252.
- Chang, Y., Nien, Y., Tsai, C. & Etnier, J. L. (2010). Physical Activity and Cognition in Older Adults : The Potential of Tai Chi Chuan, *Journal of Aging and Physical Activity*, 18, 451 - 472.
- Choi J. H., Moon, S. R. (2005). Effects of Sun-style Tai Chi exercise on physical fitness and fall prevention in fall-prone older adults. *J Adv Nurs.*, 51(2), 150 – 157.
- Colcombe, S. & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A Meta-Analytic study. *Psychological Science*, 14(2), 125 – 130.

- Dietrich, A. (2006). Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise. *Psychiatry research*, 145(1), 79 – 83.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. D. (2006). *Lehrbuch der Kognitiven Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M. & Nowell, P. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: a meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 19, 249 – 277.
- Goble, D. J., Coxon, J. P., Van Impe, A., Geurts, M., Van Hecke, W., Sunaert, S., et al. (2012). The neural basis of central proprioceptive processing in older versus younger adults: an important sensory role for right putamen. *Human brain mapping*, 33(4), 895 – 908.
- Gomez-Pinilla, F., Vaynman, S. & Ying, Z. (2008). Brain-derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition. *The European journal of neuroscience*, 28(11), 2278 – 2287.
- Granacher, U., Gollhofer, A. & Strass, D. (2006). Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men, *Gait Posture*, 24, 459 – 466.
- Hackney, A. C., Moore, A. W. & Brownlee, K. K. (2005). Testosterone and endurance exercise: development of the “exercise-hypogonadal male condition”. *Acta physiologica Hungarica*, 92(2), 121 – 137.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I. & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature*, 9, 58 – 65.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E. & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044 – 1054.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Hong Y, Li JX, R. P. (2000). Balance control, flexibility, and cardiorespiratory fitness among older Tai Chi practitioners. *Br J Sports Med.*, 34(1), 29 – 34.
- Hübscher, M., Zech, A., Pfeifer, K., Hänsel, F., Vogt, L. & Banzer, W. (2010). Neuromuscular training for sports injury prevention: a systematic review. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(3), 413 – 421.
- Jones, K., & Harrison, Y. (2001). Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. *Sleep Medicine Reviews*, 5(6), 463 – 475.
- Klintsova, A. Y., Dickson, E., Yoshida, R. & Greenough, W. T. (2004). Altered expression of BDNF and its high-affinity receptor TrkB in response to complex motor learning and moderate exercise. *Brain research*, 1028(1), 92 – 104.

Klug, N. (n. d.). *Was ist Tai Chi?* Zugriff am 25. Februar 2013 auf <http://www.taiji-europa.de/taichi-taiji/>.

Lambourne, K. & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain research*, 1341, 12 – 24.

Lee, M. S., Pittler, M. H. & Ernst, E. (2008). Tai chi for osteoarthritis: a systematic review. *Clinical rheumatology*, 27(2), 211 – 218.

Mah, C. D., Mah, K. E., Kezirian, E. J., & Dement, W.C. (2011). The effects of sleep extension on the athletic performance of collegiate basketball players. *Sleep*, 34(7), 943 – 950.

Mata, J., Hogan, C. L., Joormann, J., Waugh, C. E., & Gotlib, I. H. (2012). Acute exercise attenuates negative affect following repeated sad mood inductions in persons who have recovered from depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 1 - 6.

McAuley, E., Kramer, A. F. & Colcombe, S. J. (2004). Cardiovascular fitness and neurocognitive function in older Adults: a brief review. *Brain, Behavior, and Immunity*, 18(3), 214 – 220.

Myers, J. S. (2008). Factors Associated with Changing Cognitive Function in Older Adults: Implications for Nursing Rehabilitation. *Rehabilitation Nursing*, 33(3), 117 – 123.

Nguyen, M. H. & Kruse, A. (2012). A randomized controlled trial of Tai chi for balance, sleep quality and cognitive performance in elderly Vietnamese. *Clinical interventions in aging*, 7, 185 – 190.

Nicolai, M. & Woznik, T. (2012). Fördert Bewegung in der Pause die Aufmerksamkeit und Konzentration von Schülerinnen und Schülern in der Oberstufe? *Sportunterricht*, 61(11), 329 – 334.

Niederer, I., Kriemler, S., Gut, J., Hartmann, T., Schindler, C., Barral, J., et al. (2011). Relationship of aerobic fitness and motor skills with memory and attention in preschoolers (Ballabeina): A cross-sectional and longitudinal study. *BMC Pediatrics*, 11(1), 34.

Pierson, W. R., Montoye, H. J. (1958). Movement time, reaction time, and age. *J. Gerontol*, 13, 418 – 421.

Roig, M., Skriver, K., Lundbye-Jensen, J., Kiens, B. & Nielsen, J. B. (2012). A Single Bout of Exercise Improves Motor Memory. *PLoS ONE*, 7(9), e44594.

Schönpflug, W. (2006). *Einführung in die Psychologie*. Weinheim: Beltz.

Serrien, D. J., Ivry, R. B. & Swinnen, S. P. (2006). Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. *Nature reviews. Neuroscience*, 7(2), 160 – 166.

Sibley, B. A., Etnier, J. L. (2003). The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis. *Ped. Exerc Sci*, 15, 243 – 256.

Spirduso, W. W. (1980). Physical fitness, aging, and psychomotor speed: a review. *J. Gerontol*, 6, 850 – 865.

Spirduso, W. W., Poon, L. W., & Chodzko-Zajko, W. (2008). Using resources and reserves in an exercise-cognition model. In W. W. Spirduso, L. W. Poon, & W. Chodzko-Zajko (Eds.). *Exercise and its mediating effects on cognition* (Human Kine., S. 3 – 13). Champaign.

Taube, W. (2012). Neuronale Mechanismen der posturalen Kontrolle und der Einfluss von Gleichgewichtstraining. *JNeurolNeurochirPsychiatr*, 13, 1 – 9.

Taube, W., Gruber, M. & Gollhofer, A. (2008). Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta physiologica*, 193(2), 101 – 116.

Taube, W., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., Gollhofer, A. & Schubert, M. (2007a). Cortical and spinal adaptations induced by balance training: correlation between stance stability and corticospinal activation. *Acta physiologica*, 189(4), 347 – 358.

Taube, W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F. & Gollhofer, A. (2007b). Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *International journal of sports medicine*, 28(12), 999 – 1005.

Tomprowski, P.D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, 112(3), 297 – 324.

Treisman, A. (1982). Perceptual grouping and attention in visual search for objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 194 – 214.

Vaynman, S., Ying, Z. & Gomez-Pinilla, F. (2004). Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *The European journal of neuroscience*, 20(10), 2580 – 2590.

Voelcker-Rehage, C., Godde, B. & Staudinger, U. M. (2011). Cardiovascular and coordination training differentially improve cognitive performance and neural processing in older adults. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 26.

Völkel, N. & Hennig, E. M. (2012). Whole-Body Vibration Improves the Accuracy of Motor Performance, *J Sport Medic Doping Studie*, 1 – 5.

Wegner, M., Windisch, C., Budde, H. (2012). Psychophysische Auswirkungen von akuter körperlicher Belastung im Kontext Schule. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 19(1), 37 – 47.

Windisch, C., Voelcker-Rehage, C., Budde, H. (2011). Förderung der geistigen Fitness bei Schülerinnen und Schülern durch koordinative Übungen. *Sportunterricht*, 60(10), 307 – 310.

Wong, A. M. K. & Lan, C. (2008). Tai Chi and balance control. *Medicine and sport science*, 52, 115 – 123.

„Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Veröffentlichungen oder aus anderweitig fremden Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.“

Luzern, 8. April 2013

Unterschrift

„Der/die Unterzeichnende anerkennt, dass die vorliegende Arbeit ein Bestandteil der Ausbildung, Einheit Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Freiburg ist. Er/sie überträgt deshalb sämtliche Urhebernutzungsrechte (dies beinhaltet insbesondere das Recht zur Veröffentlichung oder zu anderer kommerzieller oder unentgeltlicher Nutzung) an die Universität Freiburg.“

Die Universität darf dieses Recht nur im Einverständnis des/der Unterzeichnenden auf Dritte übertragen. Finanzielle Ansprüche des/der Unterzeichnenden entstehen aus dieser Regelung keine.

Luzern, 08. April 2013

Unterschrift