



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Altersspezifische Veränderungen der
Bewegungskoordination und des motorischen Lernens“

verfasst von / submitted by

Manuel Kasser, Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2021 / Vienna, 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von / Supervisor

Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Danksagung

Im Rahmen dieser Masterarbeit möchte ich mich ganz besonders bei den Personen bedanken, die dazu beigetragen haben, dass ich dieses Studium machen konnte und die es mir ermöglicht haben, diese Arbeit zu schreiben.

Ein ganz großer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan, der es mir möglich gemacht hatte, die Masterarbeit im Fachbereich Trainingswissenschaft schreiben zu können. Vielen Dank für die stets hilfsbereite Unterstützung und unkomplizierte Betreuung.

Weiters gilt ein ganz spezieller und besonderer Dank meinen Eltern, meiner Freundin und meiner ganzen Familie, die mir während des gesamten Studiums immer wieder zur Seite standen, mich bestmöglich unterstützten und durch diese Lebensphase begleiteten. Danke für die so stets hilfsbereite und auch geduldige Stütze in den anstrengenden Zeiten während meines Studiums.

Abstract

The coordination of movements or the motoric learning of coordinative skills is essential to manage everyday activities. There are some changes in coordination, which occur with increasing age. Due to this fact, the aim of the master's thesis is to recognize age-specific changes in coordinative movement skills and changes in the learning of coordinative skills, and to counteract these changes with specific coordination training. A narrative review was carried out, which included nine studies on the topic of "changes in movement coordination" and six studies on "changes in motor learning". For finding these studies, the search engines "Google Scholar" and "PubMed" were used and compared with the defined inclusion criteria:

- a) An experimental study published in a peer-reviewed journal
- b) Carrying out a test to compare the motor learning of coordinative skills in at least two groups, one group consisting of younger people and the other group of older people
- c) To ensure comparability of the studies, at least one visuomotor or fine motor task should be included in the examination protocol
- d) Delimitation of studies with subjects without health restrictions and subjects with musculoskeletal disorders and neurological disorders.

The literature showed that older people need significantly longer than younger people to learn coordinative skills. Since the number of older people with degenerative and chronic diseases is increasing, this target group was specifically addressed in the course of the work, and coordination training for various neurological diseases and diseases of the musculoskeletal system was developed.

Key words: movement coordination, motor learning, age-specific, visuo-motor task, fine motor task

Kurzzusammenfassung

Die Bewegungskoordination bzw. das motorische Lernen von koordinativen Fähigkeiten sind wesentlich, um alltägliche Aktivitäten bewältigen zu können. Im Altersverlauf kommt es zu Veränderungen in der Koordination. Aufgrund dieser Tatsache ist es das Ziel der Masterarbeit, altersspezifische Veränderungen von koordinativen Bewegungsfertigkeiten bzw. Veränderungen des Erlernens von koordinativen Fähigkeiten zu erkennen, und diesen Veränderungen mit gezieltem Koordinationstraining entgegenzuwirken. Dazu wurde ein narrativer Review durchgeführt, der neun Studien zur Thematik „Veränderung der Bewegungskoordination“ und sechs Studien bezüglich der „Veränderung des motorischen Lernens“ beinhaltet. Für das Auffinden dieser Studien, wurden die Internet-Suchmaschinen „Google Scholar“ und „PubMed“ herangezogen und mit den davor definierten Einschlusskriterien abgeglichen:

- a) Eine experimentelle Studie, die in einem begutachteten Journal veröffentlicht wurde
- b) Durchführung einer Testung zum Vergleich des motorischen Erlernens von koordinativen Fähigkeiten an mindestens zwei Gruppen, wobei eine Gruppe jüngere Personen und die andere Gruppe ältere Personen beinhaltete
- c) Zur Vergleichbarkeit der Studien sollte mindestens eine visuo-motorische bzw. eine feinmotorische Aufgabe im Untersuchungsprotokoll enthalten sein
- d) Abgrenzung von Studien mit Probanden ohne gesundheitliche Einschränkungen und Probanden mit Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparats sowie neurologischen Erkrankungen.

Die Literatur zeigte, dass ältere Personen signifikant länger benötigen als jüngere Personen, um koordinativen Fähigkeiten zu erlernen. Da die Anzahl an älteren Personen mit degenerativen und chronischen Erkrankungen steigt, wurde im Laufe der Arbeit speziell auf diese Zielgruppe eingegangen und Koordinationstraining bei diversen neurologischen Erkrankungen und Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparats entwickelt.

Schlüsselwörter: Bewegungskoordination, motorisches Lernen, altersspezifisch, visuo-motorische Aufgabe, feinmotorische Aufgabe

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	6
2. Theoretische Grundlagen	8
2.1. Bewegungskoordination.....	8
2.2. Motorisches Lernen	9
3. Zielsetzung	10
4. Forschungsfrage	10
5. Methodik	11
5.1. Strategie der Literaturrecherche	11
5.2. Einschlusskriterien.....	12
5.3. Flow Chart	12
6. Beschreibung der Studien.....	13
6.1. Altersspezifische Veränderungen der Bewegungskoordination.....	14
6.2. Altersspezifische Veränderungen des motorischen Lernens.....	37
7. Ergebnisse.....	54
7.1. Altersspezifische Veränderung der Bewegungskoordination.....	54
7.1.1. Altersspezifische Veränderung der „Feinmotorik“	54
7.1.2. Altersspezifische Veränderung der „Auge-Hand-Koordination“	55
7.1.3. Altersspezifische Veränderung der „bimanuellen Koordination von Arm- und Handbewegungen“	56
7.1.4. Altersspezifische Veränderung des „Gleichgewichts“	57
7.2. Altersspezifische Veränderung des motorischen Lernens.....	58
8. Koordinationstraining in der Praxis.....	60
8.1. Trainierbarkeit von koordinativen Fähigkeiten in der Trainingstherapie.....	60
8.2. Koordinationstraining bei unterschiedlichen Erkrankungen	63
8.2.1. Koordinationstraining bei unterschiedlichen neurologischen Erkrankungen.....	63
8.2.2. Koordinationstraining bei Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparats	66
9. Diskussion.....	68
10. Ausblick	70
11. Literaturverzeichnis	71
12. Abbildungsverzeichnis	78
13. Tabellenverzeichnis	80
14. Eigenständigkeitserklärung.....	81

1. Einleitung

Aufgrund der im heutigen Zeitalter zunehmenden Digitalisierung kommt es im täglichen Leben eines Menschen zu einer Reduktion von physiologischen Belastungen und somit auch zu einer Verringerung einer möglichen Auseinandersetzung mit dem Erlernen von koordinativen Fähigkeiten.

Dabei ist die Fähigkeit, zielgerichtete und exakte Bewegungen erlernen und ausführen zu können, eine der beeindruckendsten Eigenschaften biologischer Systeme. Diese Fähigkeit ist jedoch nicht konstant, sondern unterliegt zahlreichen Veränderungen in der Lebensspanne eines Menschen. So sind die Bewegungen eines Kindes noch unsicher und ungenau, und erst mit zunehmendem Alter verbessern sich die koordinativen Fähigkeiten und die Bewegungen werden zielsicher und ökonomisch (Praxl, 2001, S.1). Ältere Erwachsene hingegen führen komplexe Aufgaben langsamer und in einigen Fällen weniger genau aus als in ihrer Jugend (Voelcker-Rehage, 2008, S.5-16).

Gershon (1978, S.362-372) befasste sich mit der ersten Studie zum Erlernen einer komplexen motorischen Fähigkeit bei einer Jonglier-Aufgabe über die Lebensspanne. Untersucht wurden die motorischen Fertigkeiten beim Lernen einer Ein-Hand-Jonglier-Aufgabe mit zwei Kugeln. Das höchste Leistungsniveau zeigte sich in der Altersgruppe von 30 bis 39 Jahren. Ein vergleichbares niedriges Niveau erreichten kleine Kinder im Alter von 6 bis 9 Jahren und ältere Erwachsene im Alter von 70 bis 79 Jahren. Weiters wurde mithilfe der Studie festgestellt, dass nicht erst im höheren Alter, sondern schon ab dem mittleren Alter Leistungseinbußen entstehen.

Um koordinative Fertigkeiten erlernen bzw. verbessern zu können, spielt das motorische Lernen eine wichtige Rolle. Während des motorischen Lernens werden Bewegungen zunehmend gleichmäßiger und schneller, während sie anfänglich langsam und unter aufmerksamer somatosensorischer oder visueller Kontrolle ausgeführt werden. Dabei werden motorische Fertigkeiten im prozeduralen Gedächtnis gespeichert und bei der Bewegungsausführung abgerufen (Seitz, 2001, S.343-349).

Im höheren Alter kommt es vermehrt zu Leistungseinbußen von motorischen Fertigkeiten. Da die Lebenserwartung der menschlichen Bevölkerung steigt und dadurch auch die Anzahl an älteren Menschen mit degenerativen und chronischen Erkrankungen im Alter zunimmt, gilt der Umgang mit diversen Erkrankungen schon länger dem Interesse der Sporttherapie. Wichtig ist es, durch gezielte Therapiemaßnahmen das Fortschreiten der Erkrankungen zu verhindern und die Selbstständigkeit der Menschen mithilfe wissenschaftlicher Erkenntnisse bezüglich der Trainierbarkeit der Bewegungskoordination so lange wie möglich aufrechtzuerhalten.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen mit aktueller Literatur altersspezifische Vergleiche zum Thema Veränderungen beim Erlernen von koordinativen Fähigkeiten durchgeführt werden. Anhand aktueller Erkenntnisse können mögliche Unterschiede verschiedener Altersgruppen bestmöglich eingegrenzt und Koordinationstraining in der Trainingstherapie bei unterschiedlichen Krankheitsbildern eingesetzt werden.

Um die folgende Arbeit überblicksmäßig darzustellen, wird nun kurz auf einzelne Kapitel eingegangen.

Kapitel 2 beinhaltet eine Beschreibung der für die Arbeit relevanten Begriffe „Bewegungskoordination“ und „motorisches Lernen“.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit der genauen Erläuterung des Ziels der Masterarbeit.

Kapitel 4 stellt ausführlich die Forschungsfrage dar, deren Beantwortung das Bestreben der Masterarbeit ist.

Kapitel 5 behandelt die Methodik in Form einer strategischen Literaturrecherche mittels Ein- und Ausschlusskriterien.

Kapitel 6 beinhaltet alle relevanten Studien, die zur Beantwortung der Forschungsfrage dienen sollen. Ausgewählte Studien werden hier zur Analyse herangezogen.

Kapitel 7 vermittelt sämtliche Ergebnisse und Vergleiche generierter Daten in unterschiedlichen Kategorien, die mithilfe der Studien gewonnen werden können.

Kapitel 8 widmet sich der Anwendung von hervorgebrachten Ergebnissen in der Praxis. Der Fokus liegt hier auf der Trainierbarkeit von koordinativen Fähigkeit im trainingstherapeutischen Alltag sowie spezifisch bei gezieltem Koordinationstraining bei unterschiedlichen Erkrankungen.

Die Arbeit wird in Kapitel 9 mit der Diskussion und Kapitel 10 mit einem möglichen zukünftigen Ausblick abgerundet.

2.Theoretische Grundlagen

2.1. Bewegungskoordination

In der Trainingslehre wird die Koordination neben der Kraft, Ausdauer, Schnelligkeit und Beweglichkeit den motorischen Hauptbeanspruchungsformen zugerechnet. (Weineck, 1996, in Heidemann, 2006, S.32).

„Koordination in der Tätigkeit des Menschen ist die Abstimmung aller Teilprozesse des motorischen Akts im Hinblick auf das Ziel, auf den Zweck, der durch den Bewegungsvollzug als Handlungsbestandteil erreicht werden soll“ (Meinel & Schnabel, 2007, S.32). „Bewegungskoordination“ ist „das Zusammenwirken von Zentralnervensystem und Skelettmuskulatur innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufs“ (Hollmann & Hettinger, 2000, S.132). Weiteres verstehen Meinel & Schnabel (2007, S.28) unter der Bewegungskoordination „die Ordnung, die Organisation von Bewegung und damit auch der zugrundeliegenden senso- und ideomotorischen Prozesse in Ausrichtung auf ein bestimmtes Ziel beziehungsweise im aktuellen Prozess der Wechselwirkungen des Handelnden mit der jeweiligen Umweltsituation“. Die sensomotorische Kontrolle von Körperbewegungen wird somit als ein Regelkreis verstanden, der die Sensorik des Körpers, hochrangige Prozesse der Wahrnehmung, Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung sowie die Aktivierung der Muskulatur umfasst. Die jeweilige Aufgabenstellung bestimmt die spezifischen Anforderungen an die sensomotorische Bewegungskontrolle (Granacher et al., 2018, S.399). Die Informationsaufnahme und –aufbereitung wird durch Analysatoren gewährleistet. Zu einem Analysator gehören spezifische Rezeptoren (Sinnesorgane, die Informationen aufnehmen), afferente (=zum Zentralnervensystem hinführende) Nervenbahnen und sensorische Zentren in verschiedenen Hirngebieten (Glatzfelder & Rohner, 2006, S.4).

Koordinative Fähigkeiten sind Voraussetzungen um alltägliche Aktivitäten bewältigen und auch sportliche Leistungen erbringen zu können. Sie bestimmen die Güte der Bewegungsausführung, erleichtern den Neuerwerb sportlicher Fertigkeiten, verbessern die Bewegungssicherheit und vermindern dadurch die Sturzgefahr (Heidemann, 2006, S.48). Nach Blume (1978, S.29-36) umfassen die koordinativen Fähigkeiten die sieben unterschiedlichen Komponenten Reaktions-, Rhythmus-, Gleichgewichts-, Orientierungs-, Differenzierungs-, Kopplungs- und Umstellungsfähigkeit. Im Unterschied zu den koordinativen Fähigkeiten, die von Schnabel & Thiess (1993, S.281) als „Leistungsvoraussetzungen zur Bewältigung dominanter koordinativer Anforderungen“ bezeichnet werden, werden motorische Fertigkeiten von Loosch (1999, S.220) als „durch Üben erworbene operationalisierte und automatisierte Teilhandlungen innerhalb einer komplexen Tätigkeit“ definiert.

2.2. Motorisches Lernen

Sportliche Situationen sind dadurch gekennzeichnet, dass situativ geforderte Bewegungsmuster nicht auf Anhieb gelingen. Bevor man eine sportliche Technik beherrscht, bedarf es vielmehr einer mehr oder weniger ausgedehnten Übungsphase. Da solche Übungsphasen auf die Veränderung der motorischen Kontrollmechanismen abzielen, die der Bewegungsausführung zugrunde liegen, spricht man von motorischem Lernen (Mechling & Munzert, 2003, S.131).

Meinel & Schnabel (1987) definieren motorisches Lernen als „die Aneignung – die Entwicklung, Anpassung und Vervollkommnung – von Verhaltensweisen und –formen, speziell von Handlungen und Fertigkeiten, deren Hauptinhalt die motorische Leistung ist“ (Meinel & Schnabel, 1987, nach Rieder, 1991, S.31 & nach Wyznikiewicz-Kopp, 1991, S.149). Befunde zum motorischen Lernen sind eng mit altersbedingten physischen, psychischen und sensorischen Veränderungen verknüpft (Calautti et al., 2001, S.139-146). Neben alterstypischen Veränderungen im Bewegungs- und Stützapparat, im Herz-Kreislauf-System, im respiratorischen System, im Verdauungs- und Ausscheidungssystem, im endokrinen System, im Nervensystem, bei Sinnesleistungen kommt es auch zu chemischen Veränderungen im Gehirn (Shepard, 1997).

Das menschliche Gehirn ist extrem leistungsfähig, flexibel und anpassungsfähig. Es wird als komplexes Netzwerk von Milliarden von Nervenzellen dargestellt, das es dem Menschen ermöglicht, sich auf Umgebungen, Aufgaben und Probleme einzustellen (Spitzer, 2003, S. 13f). „Unter neuronaler Plastizität oder Neuroplastizität verstehen wir die Fähigkeit des Gehirns des Zentralnervensystems (insbes. des Gehirns), sich beständig den Erfordernissen des Gebrauchs optimal anzupassen – und dabei können neuronale Netzwerke reorganisiert werden, indem neue synaptische Verbindungen zwischen den Neuronen geknüpft und bereits bestehende wieder gelöst werden“ (Rüegg, 2011, S.19). „Im höheren Alter zeigen sich Beeinträchtigungen sensomotorischer Funktionen als auch kognitiver Funktionen und Wahrnehmungsfunktionen“ (Ketcham et al., 2001; Raz, 2000; in Granacher et al., 2018, S.406). „Zu den auffälligsten strukturellen Altersveränderungen im gesunden Gehirn gehört eine Verringerung des Volumens der grauen (Nervenzellen und Dendriten) und weißen (Nervenfaser) Substanz in unterschiedlichen Bereichen des Gehirns bei gleichzeitiger Ausdehnung der mit Cerebrospinalflüssigkeit gefüllten Hohlräume“ (Granacher et al., 2018, S.216). Die sichtbaren Veränderungen in der weißen Substanz werden häufig als Basis für die altersabhängige Verlangsamung kognitiver, motorischer und sensorischer Prozesse beobachtet. Die verlangsamte Reizweiterleitung wird als genereller Faktor für eine geringere Verarbeitungskapazität und Leistungsfähigkeit des Gehirns betrachtet (Salthouse, 1996).

3. Zielsetzung

Das Erkenntnisinteresse dieser Masterarbeit liegt darin, herauszufinden, wie sich koordinative Fähigkeiten und das motorische Lernen in der Lebensspanne verändern und welche trainings-therapeutischen Methoden gezielt eingesetzt werden, um möglichen degenerativen Abbau-
prozessen entgegenwirken zu können.

Ziel der Masterarbeit ist es, Veränderungen im biologischen Altersprozess in Bezug auf das Erlernen und Verbessern von koordinativen Fähigkeiten darzustellen und altersspezifisch Methoden zu entwickeln. Darüber hinaus soll mit dieser Arbeit auch im Bereich der Trainingstherapie auf verschiedenste neurologische Erkrankungen und Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparats eingegangen werden, für die ein Training der Bewegungskoordination von äußerster Relevanz ist, um alltägliche Situation besser bewältigen zu können.

4. Forschungsfrage

Im Rahmen dieser Masterarbeit soll die altersspezifische Veränderung der Bewegungskoordination und des motorischen Lernens behandelt werden.

Hierzu stellen sich nachfolgende Forschungsfragen:

- „Welche Merkmale lassen sich bei Menschen verschiedenster Altersgruppen hinsichtlich der Bewegungskoordination bzw. des Erlernens von koordinativen Fähigkeiten feststellen?“
- „Gibt es spezielle Unterschiede zwischen jüngeren Personen (1-50 Jahren) und älteren Personen (über 50 Jahren) beim Erlernen von koordinativen Fähigkeiten?“
- „Wie können trainingstherapeutische Methoden eingesetzt werden, um mögliche Unterschiede (auch aufgrund von unterschiedlichen Erkrankungen) des motorischen Lernens bestmöglich zu verkleinern?“

Hypothese 0: Das Alter hat keinen Einfluss beim Erlernen von koordinativen Fähigkeiten. Ältere Personen benötigen nicht länger als jüngere Personen um koordinative Fähigkeiten zu erlernen.

Hypothese 1: Das Alter hat einen Einfluss beim Erlernen von koordinativen Fähigkeiten. Ältere Personen benötigen länger als jüngere Personen, um koordinative Fähigkeiten zu erlernen.

5. Methodik

Bei der Masterarbeit handelt es sich um einen narrativen Review. Um einen Überblick über die altersspezifische Veränderung des Erlernens von koordinativen Fähigkeiten vermitteln zu können, wurde diese Arbeit mithilfe umfangreicher Literaturrecherche und Vergleiche aktueller Studien aufgebaut. Die gefundenen Informationen sollten mit den davor festgelegten Einschlusskriterien abgeglichen werden.

Untersucht wurden folgende Aspekte:

- die altersspezifischen Veränderungen der Bewegungskoordination
- die altersspezifischen Veränderungen des motorischen Lernens
- Koordinationstraining in der Praxis
 - Trainierbarkeit von koordinativen Fähigkeiten in der Trainingstherapie
 - Koordinationstraining bei unterschiedlichen Erkrankungen

Die Internet-Suchmaschinen „Google Scholar“ und „PubMed“ wurden verwendet, um die für die Beantwortung der Forschungsfrage relevanten Informationen und Ergebnisse zu sammeln.

5.1. Strategie der Literaturrecherche

Bei der Internetrecherche mit „Google Scholar“ bzw. „PubMed“ wurden folgende Begriffe verwendet, um schlussendlich Material bzw. Informationen zum Themenkomplex erhalten zu können: „motor learning“, „motor skill“, „motor skill learning“, „motor memory“, „visuo-motor learning“, „eye-hand coordination“, „coordination“, „bimanual coordination“, „age specific“, „aging“, „movement coordination“, „fine motor function“, „degenerative disease“, „plasticity age“. Diese Begriffe wurden mit den Booleschen Operatoren AND and OR kombiniert. Bei der Internetrecherche wurde darauf geachtet, die aktuellsten Studien zur Bearbeitung des Themas heranzuziehen.

5.2. Einschlusskriterien

Eine Studie musste gewisse Kriterien erfüllen, um in die Masterarbeit bzw. das Review eingegliedert zu werden. Im folgenden Abschnitt werden nun die Kriterien aufgelistet:

- Eine experimentelle Studie, die in einem begutachteten Journal veröffentlicht wurde
- Durchführung einer Testung zum Vergleich des motorischen Erlernens von koordinativen Fähigkeiten an mindestens zwei Gruppen, wobei eine Gruppe jüngere Personen und die andere Gruppe ältere Personen beinhaltete
- Zur Vergleichbarkeit der Studien sollte mindestens eine visuo-motorische bzw. eine feinmotorische Aufgabe im Untersuchungsprotokoll enthalten sein
- Abgrenzung von Studien mit Probanden ohne gesundheitliche Einschränkungen und Probanden mit Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparats sowie neurologischen Erkrankungen

5.3. Flow Chart

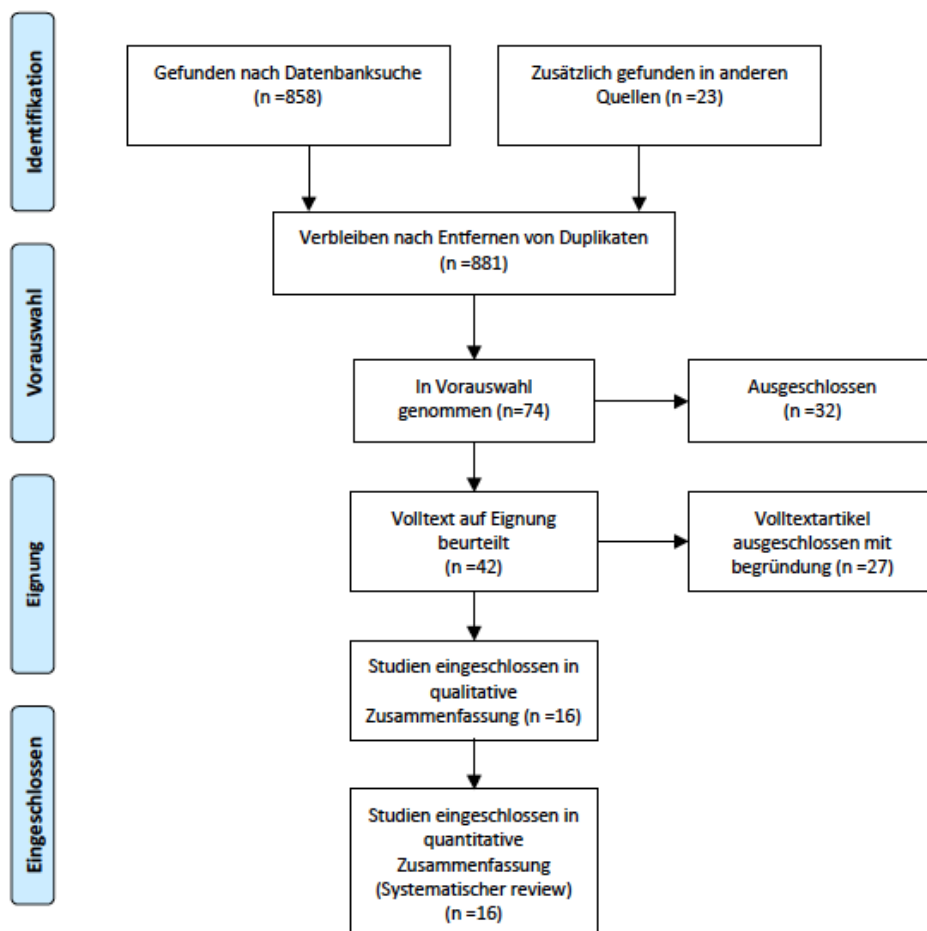


Abbildung 1: Flow Chart (Moher et al., 2009)

6. Beschreibung der Studien

Dieses Kapitel umfasst alle für die Masterarbeit relevanten Studien, die den bereits genannten Einschlusskriterien entsprechen. Um die Themenschwerpunkte „Bewegungskoordination“ und „motorisches Lernen“ voneinander abgrenzen zu können, erfolgte eine Aufteilung in die zwei Bereiche „altersspezifische Veränderungen der Bewegungskoordination“ und „altersspezifische Veränderungen des motorischen Lernens“.

Tabelle 1: Studien - altersspezifische Veränderungen der Bewegungskoordination

Studie	Probanden	Aufgabe	Testung
Leversen et al., (2012)	307 Jüngere (7-45 J.) 12 Mittlere (46-55 J.) 19 Ältere (56-80 J.)	Feinmotorische Aufgabe, Auge-Hand-Koordinationsaufgabe, Gleichgewichtsaufgabe	Motorische Leistungsfähigkeit
Dayanidhi & Valero-Cuevas, (2014)	32 Jüngere (18-34 J.) 34 Mittlere (45-65 J.) 32 Ältere (66-89 J.)	Feinmotorische Aufgabe	Handgeschicklichkeit und Feinmotorik
Shim et al., (2014)	12 Jüngere (23-30 J.) 12 Ältere (74-96 J.)	Feinmotorische Aufgabe	Koordination der Fingerkräfte
Boisgontier et al., (2018)	49 Jüngere (10-40 J.) 28 Mittlere (40-60 J.) 32 Ältere (60-80 J.)	Bimanuelle Koordinationsaufgabe	Bimanuelle Koordinationsleistung
Goble et al., (2010)	16 Jüngere (21-31 J.) 16 Ältere (61-79 J.)	Bimanuelle Handgelenkskoordinationsaufgabe	Gehirnaktivierung bei bimanueller Koordinationsleistung
Wishart et al., (2000)	10 Jüngere (19-25 J.) 20 Ältere (65-83 J.)	Bimanuelle Koordinationsaufgabe	Bimanuelle Koordinationsleistung
Fujiyama et al., (2016)	15 Jüngere (20-25 J.) 13 Ältere (63-69 J.)	Bimanuelle Koordinationsaufgabe	Gehirnaktivierung bei bimanueller Koordinationsleistung
Guan & Wade, (2000)	21 Jüngere (20-36 J.) 21 Ältere (67-87 J.)	Auge-Hand-Koordinationsaufgabe	Auge-Hand-Koordination
Liutsko et al., (2014)	167 Jüngere (12-29 J.) 67 Mittlere (30-64 J.) 25 Ältere (65-95 J.)	Feinmotorische Aufgabe	Feinmotorisches Verhalten bei propriozeptiven und visuo-propriozeptiven Bedingungen

Tabelle 2: Studien - altersspezifische Veränderungen des motorischen Lernens

Studie	Probanden	Aufgabe	Testung
Hoff et al., (2015)	26 Jüngere (20-35 J.) 26 Ältere (50-74 J.)	Bimanuelle Reaktionszeitaufgabe	Bimanuelles motorisches Sequenzlernen
Voelcker-Rehage & Willimczik, (2006)	656 Jüngere (5-29 J.) 309 Mittlere (30-59 J.) 255 Ältere (>60 J.)	Multisensorische Mehrgelenksaufgabe	Motorische Plastizität
Boyd et al., (2008)	11 Jüngere (23-35 J.) 13 Mittlere (38-64 J.) 11 Ältere (71-83 J.)	Reaktionszeitaufgabe	Motorisches Sequenzlernen
Ghisletta et al., (2010)	21 Jüngere (19-29 J.) 31 Mittlere (30-49 J.) 50 Ältere (50-80 J.)	Perzeptiv-motorische Aufgabe	Motorisches Lernen
Shea et al., (2006)	8 Jüngere (19-23 J.) 8 Ältere (65-68 J.)	Reaktionszeitaufgabe	Motorisches Sequenzlernen
Smith et al., (2005)	30 Jüngere (24-45 J.) 121 Ältere (65-95J.)	Feinmotorische Aufgabe	Motorisches Lernen

6.1. Altersspezifische Veränderungen der Bewegungskoordination

Dieser Bereich beschäftigt sich konkret mit ausgewählten Studien zur Thematik „Veränderungen der Bewegungskoordination“ im Laufe der Lebensspanne eines Menschen. Wie man den nachfolgenden Studien entnehmen kann, wurde eine jüngere Gruppe mit einer älteren Gruppe im Rahmen einer visuo-motorischen oder einer feinmotorischen Aufgabe verglichen. Die Probanden hatten keinerlei gesundheitliche Einschränkungen. Dies war die Voraussetzung bei allen Studien, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse erzielen zu können.

Die Intention der Masterarbeit ist es, Merkmale für eine Veränderung der Bewegungskoordination aus den Studien zu entnehmen und diese Merkmale schließlich zu vergleichen und zu analysieren.

Im folgenden Abschnitt werden nun neun Studien vorgestellt, die sich gezielt mit der Veränderung der „Feinmotorik“, der „Auge-Hand-Koordination“, der „bimanuellen Koordination von Arm- und Handbewegungen“ oder dem „Gleichgewicht“ beschäftigen.

Studie 1: From Children to Adults: Motor Performance across the Life Span (Leversen et al., 2012, S.1-7)

Ziel der Studie (Leversen et al., 2012, S.1)

Untersuchung der motorischen Leistungsfähigkeit über die gesamte Lebensdauer eines Menschen und Erforschung, ob Zusammenhänge bei Vergleich zweier feinmotorischen Aufgaben oder bei Vergleich zweier Gleichgewichtsaufgaben mit dem Alter zunehmen.

Altersgruppen (Leversen et al., 2012, S.2)

An der Studie nahmen 173 Personen im Alter von 7 bis 9 Jahren, 87 Personen im Alter von 19-25 Jahren, 31 Personen im Alter von 26 bis 35 Jahren, 16 Personen im Alter von 36 bis 45 Jahren, 12 Personen im Alter von 46 bis 55 Jahre, 13 Personen im Alter von 56 bis 65 Jahre und 6 Personen im Alter von 66-80 Jahren teil.

Aufgabenstellung (Leversen et al., 2012, S.2-3)

Probanden absolvierten verschiedene motorische Kompetenztests, die dazu dienten, die motorische Kompetenz der Probanden für die Bewältigung von Aufgaben des täglichen Lebens untersuchen zu können. Dabei sollten sie fünf motorische Aufgaben so schnell wie möglich bewältigen.

Zwei Aufgaben bezogen sich auf den feinmotorischen Bereich. Die Probanden sollten im Rahmen der ersten Aufgabe bei „Placing Bricks-PB“ 18 Steine auf einem „duplo board“ platzieren. Ebenso wurden die Teilnehmer beauftragt bei „Building Bricks-BB“ mit 12 Steinen einen Turm zu bauen. Die nächste Aufgabe umfasste eine Auge-Hand-Koordinationsaufgabe. Bei „Throwing Bean Bag at Target-TBT“ sollte ein Gegenstand, der sich zwei Meter vom Probanden befand, getroffen werden. Dabei wurde die durchschnittliche Entfernung zum Zielobjekt bei drei Versuchen gemessen. Zu guter Letzt durchliefen die Teilnehmer noch zwei dynamische Gleichgewichtsaufgaben. Beim „Heel to toe walking-HTW“ absolvierten die Probanden einen „Tandem walking test“, bei dem die Teilnehmer auf einer markierten Linie (4,5m) balancieren sollten. Die Fersen des vorderen Fußes befanden sich somit beim Gang unmittelbar vor den Zehen des hinteren Fußes. Beim „Walking/Running in Slopes-W/R“ stand der Proband auf einer Startlinie und hatte die Aufgabe, beim Ertönen eines Signals so schnell wie möglich in einem Achter um zwei markierte Linien zu gehen/laufen. Linie 1 war einen Meter und Linie 2 insgesamt 5,5 Meter entfernt vom Startpunkt. Wenn der Proband rechts von Linie 1 vorbeiging, musste er Linie 2 links passieren, um die Linie 2 herumgehen und im Anschluss bei Linie 1 links vorbeigehen, um zum Startpunkt zu gelangen.

Resultate (Leversen et al., 2012, S.3-6)

Abbildung 2 zeigt für alle Altersgruppen die Mittelwerte bezüglich der fünf motorischen Kompetenzaufgaben. Wird der Durchschnitt aller fünf Aufgaben hinsichtlich der Altersgruppen gebildet und mit den anderen Gruppen verglichen, erzielten die Altersgruppe von sieben bis neun Jahren mit durchschnittlich 29,27 Sekunden die schwächsten Mittelwerte. Den vorletzten Platz belegten die Probanden im Alter von 66 bis 80 Jahre, die durchschnittlich 18,96 Sekunden erreichten. Die besten Mittelwerte erlangte die Altersgruppe von 26 bis 35 Jahren mit durchschnittlich 12,97 Sekunden. Die anderen Gruppen im Alter von 19 bis 25 Jahre (13,07 Sekunden), 36 bis 45 Jahre (14,48 Sekunden), 46 bis 55 Jahre (14,72 Sekunden) und 56-65 Jahre (16,28 Sekunden) erzielten sehr ähnliche, jedoch mit dem Alter zunehmende Durchschnittswerte.

Age groups	N	Age		PB		BB		TBT		HTW		W/R	
		Mean (s)	(SD)	Mean (s)	SD	Mean (s)	SD	Mean (s)	SD	Mean (s)	SD	Mean (s)	SD
7-9	173	7,36	(0,56)	34,57	6,62	20,02	4,50	63,74	36,01	21,88	7,13	6,12	1,06
19-25	87	21,87	(1,61)	18,40	2,00	10,50	1,61	23,33	15,84	8,53	1,85	4,60	0,41
26-35	31	30,13	(3,04)	18,76	2,57	10,72	1,61	22,03	12,65	8,25	1,89	5,07	0,68
36-45	16	39,63	(2,92)	20,73	3,63	12,07	2,40	25,50	18,03	8,08	1,28	6,02	1,05
46-55	12	50,92	(3,42)	21,15	1,93	12,24	1,54	25,35	12,50	8,40	1,66	6,47	1,28
56-65	13	60,69	(3,59)	23,30	2,46	13,55	2,12	28,07	14,89	9,50	2,94	6,98	1,30
66-80	6	75,17	(2,79)	27,96	2,53	14,69	1,63	28,12	22,21	14,37	5,74	9,66	3,46

Abbildung 2: Altersspezifische Mittelwerte der fünf motorischen Kompetenzaufgaben (Leversen et al., 2012, S.3)

Wie in Abbildung 3 ersichtlich, verbesserte sich die motorische Leistungsfähigkeit vom Kindesalter (7-9 Jahre) bis zum jungen Erwachsenenalter (19-25 Jahre) kontinuierlich schnell. Allerdings kommt es nach dieser Altersgruppe zu einem kontinuierlichen Abbau der motorischen Leistungsfähigkeit.

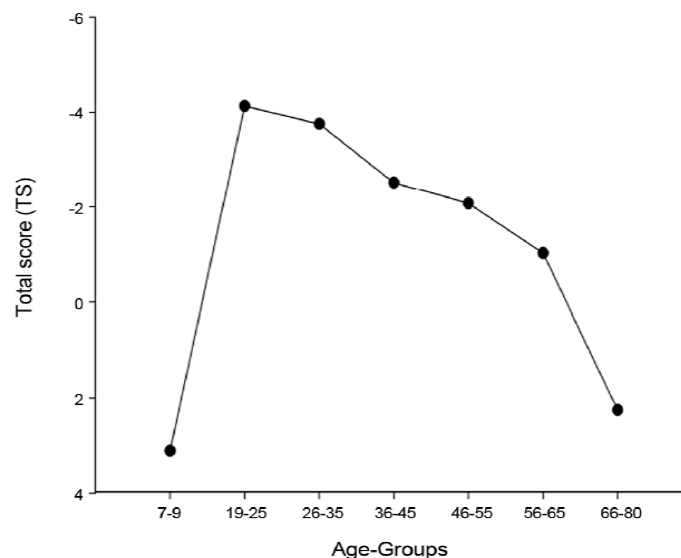


Abbildung 3: Gesamtpunkteanzahl für motorische Leistung bei den jeweiligen Altersgruppen (Leversen et al., 2012, S.4)

Weiters wurden die Probanden in Abbildung 4 in die drei Altersklassen „jüngere Probanden“ (7-9 Jahre), „Probanden mittleren Alters“ (19-45 Jahre) und „Probanden höheren Alters“ (46-80 Jahre) aufgeteilt.

Mithilfe des Paerson-Tests wurden für die zwei feinmotorischen Aufgaben „PB“ und „BB“ folgende Werte erzielt: Jüngere Probanden von 7 bis 9 Jahren erreichten einen schwachen signifikanten Zusammenhang ($r = 0.179$, $p < 0.05$), wohingegen Probanden mittleren Alters von 19 bis 45 Jahren ($r = 0.504$, $p < 0.01$) und die Probanden höheren Alters von 46 bis 80 Jahren ($r = 0.620$, $p < 0.01$) einen mittelstarken signifikanten Zusammenhang der beiden feinmotorischen Aufgaben verzeichneten. Außerdem konnten mittels Paerson-Tests für die zwei Gleichgewichtsaufgaben „HTW“ und „W/R“ folgende Ergebnisse gewonnen werden: Jüngere Probanden von 7 bis 9 Jahren ($r = 0.140$, $p < 0.05$) und Probanden mittleren Alters von 19 bis 45 Jahren ($r = 0.230$, $p < 0.05$) erzielten einen schwachen signifikanten Zusammenhang, wobei Probanden höheren Alters von 46 bis 80 Jahren ($r = 0.845$, $p < 0.01$) einen starken signifikanten Zusammenhang der beiden Gleichgewichtsaufgaben erreichten.

Bei Verwendung der Fishers Z-Transformation konnte ein signifikanter Gruppenunterschied in den Korrelationskoeffizienten zwischen junger und alter Gruppe sowohl bei feinmotorischen als auch dynamischen Gleichgewichtsaufgaben festgestellt werden.

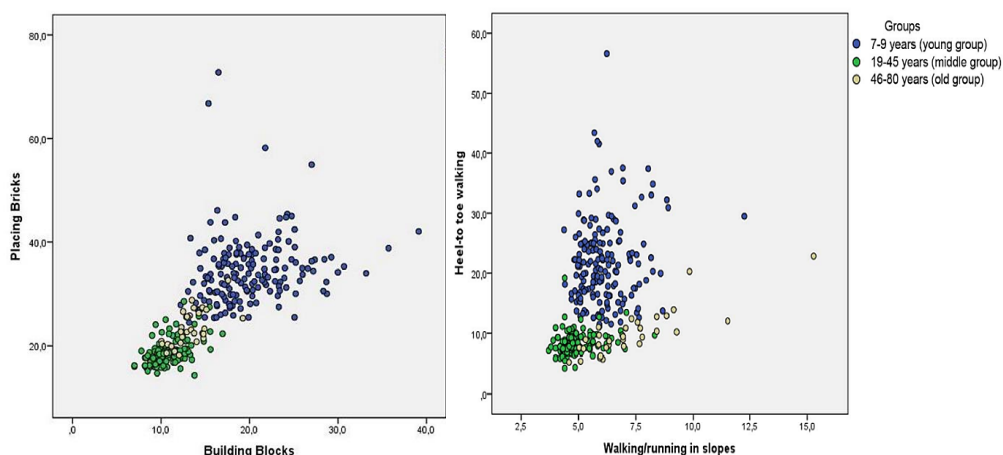


Abbildung 4: Korrelationen von "PB" und "BB" bzw. "HTW" und "W/R" bezüglich der drei Altersgruppen (Leversen et al., 2012, S.5-6)

Das geringere Volumen der weißen Hirnsubstanz kündigt eine schwache Verbindung zwischen neuronalen Gruppen an und könnte daher in beiden Altersgruppen Kinder und ältere Erwachsene zu einer geringeren Verarbeitungsgeschwindigkeit der motorischen Anforderungen im Gehirn führen. Das könnte eine Erklärung für die sehr ähnliche motorische Leistungsfähigkeit beim Vergleich beider Altersgruppen sein. Da aufgabenspezifisches Training die Wahrscheinlichkeit der Bildung und Verbindung von neuronalen Gruppen erhöht, würden Kinder und Erwachsene von diesem Training sehr profitieren.

Studie 2: Dexterous Manipulation Is Poorer at Older Ages and Is Dissociated From Decline of Hand Strength (Dayanidhi & Valero-Cuevas, 2014, S.1139-1145)

Ziel der Studie (Dayanidhi & Valero-Cuevas, 2014, S. 1139)

Quantifizierung der dynamischen Steuerung der Fingerspitzenkräfte, um festzustellen, wie die geschickte Manipulation im Alter funktioniert.

Altersgruppen (Dayanidhi & Valero-Cuevas, 2014, S. 1140)

An der Studie nahmen 32 Personen im Alter von 18 bis 34 Jahre, 34 Personen im Alter von 45 bis 65 Jahre und 32 Personen im Alter von 66 bis 89 Jahre teil.

Aufgabenstellung (Dayanidhi & Valero-Cuevas, 2014, S. 1140-1141)

Mittels Zeigefinger und Daumen sollte von den Probanden eine schraubenförmige Druckfeder so zusammengedrückt werden, dass ein maximaler Grad an Instabilität entsteht („Standardized Tests of Dexterity“). Die Kompression wurde drei Sekunden lang gehalten. Die Teilnehmer hatten dabei drei Versuche.

Zusätzlich führte man noch den „Nine Hole Peg Test“ zur Messung der Feinmotorik und den „Box and Blocks Test“ zur Untersuchung der groben Handgeschicklichkeit bei den Probanden mittleren Alters und den Probanden höheren Alters durch. Beim „Nine Hole Peg Test“ wurde die Zeit gemessen, wie lange ein Proband benötigt, neun Holzdübel einzeln mit den Fingern aus einem flachen Behälter zu nehmen, in die Löcher eines Brettes zu stecken und die Dübel vom Brett wieder in den Behälter zu deponieren. Beim „Box and Blocks Test“ sollte die Anzahl an Blöcken gezählt werden, die ein Proband in einer Minute von der einen Seite einer Kiste auf die andere Seite transportieren kann.

Resultate (Dayanidhi & Valero-Cuevas, 2014, S.1141-1145)

Dayanidhi et al. (2014) erkannten einen signifikanten Unterschied der dynamischen Manipulation bezüglich des Alters. Die Fähigkeit der geschickten Manipulation war im höheren Alter schwächer als bei jüngeren Probanden. Ein Rückgang setzte bereits im mittleren Alter ein. Die Dynamik der Fingerspitzenkraft während der Federkompression und -stabilisierung zeigte eine Verschlechterung der neuromuskulären Kontrolle bei älteren Erwachsenen. Wie in der Abbildung 5 ersichtlich ist, wurden für die Altersgruppen folgende Werte erzielt: $213,79 \pm 6,8\text{gmf}$ für Jüngere, $185,73 \pm 6,6\text{gmf}$ für Probanden mittleren Alters und $156,15 \pm 6,8\text{gmf}$ für ältere Personen.

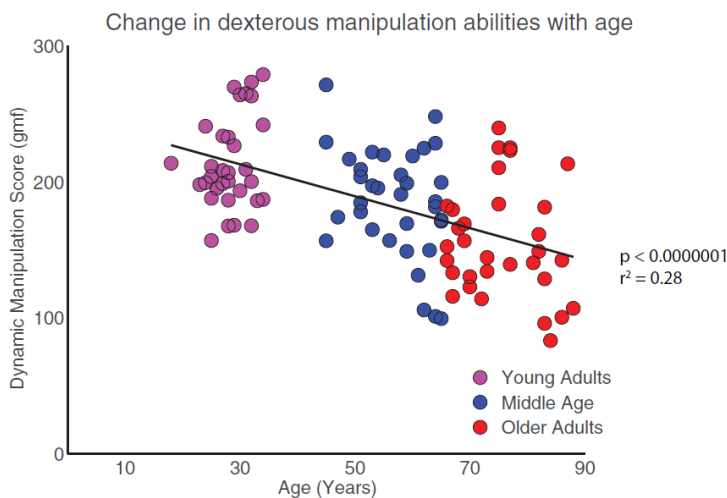


Abbildung 5: Differences in the dynamic manipulation score across the age groups (Dayanidhi & Valero-Cuevas, 2014, S. 1142)

Die Anwendung des „Standardized Tests of Dexterity“ ermöglichte die Erkennung von schlechterer dynamischer Kontrolle der Fingerspitzenkraftvektoren von Daumen und Zeigefinger zur Stabilisierung des Handgelenks. Aufgrund des deutlichen Anstiegs der Streuung im Phasenportrait sind die Teilnehmer im mittleren und höheren Alter indikativ von Defiziten in der neuromuskulären Kontrolle betroffen. Unterschiede ließen sich bei jüngeren Probanden ($23.93 \pm 3.5\text{gmf}$) und Probanden mittleren Alters ($34.88 \pm 3.4\text{gmf}$) erkennen. Auch zwischen jüngeren Probanden und älteren Erwachsenen ($40.46 \pm 3.5\text{gmf}$) gab es Unterschiede. Der SD-Test bewertete die integrative sensomotorische Fähigkeit im Hinblick auf u.a. Fingerfertigkeit, Tastsinn, und muskuläre Selbstwahrnehmung. Es gibt eine Reihe von Gründen für die Veränderungen des sensomotorischen Systems. Bereits ab dem früheren Erwachsenenalter kommt es zu degenerativen Veränderungen im Gehirnvolumen, in den kortikalen Bereichen des sensomotorischen Systems und in dem diffusen kortikalen Netzwerk, die mit dem präzisen Griffverhalten verbunden sind. Darüber hinaus wurde eine Verlangsamung der zentralen und peripheren (motorischen und sensorischen) Leitungsgeschwindigkeiten bei Menschen über 60 Jahren festgestellt.

Studie 3: Age-related changes in finger coordination in static prehension tasks (Shim et al., 2004, S.213-224)

Ziel der Studie (Shim et al., 2004, S.213)

Untersuchung der Koordination der Fingerkräfte und Hebelarme bei jungen und älteren Probanden.

Altersgruppen (Shim et al., 2004, S.214)

An der Studie nahmen 12 Personen im Alter von 23 bis 30 Jahren und 12 Personen im Alter von 75 bis 96 Jahre teil.

Aufgabenstellung (Shim et al., 2004, S.214-215)

Die Probanden saßen auf einem Stuhl. Der rechte Arm wurde auf einem Tisch befestigt. Die Probanden hielten einen Titangriff. Die Aufgabe war es einen Druck auf sechsdimensionale Kraftsensoren zu erzeugen. Bei der „MVC-Torques“ (Drehmomentaufgabe) führten die Personen drei Versuche für jede Drehmomentrichtung „Pronation“ und „Supination“ für jeweils fünf Sekunden durch. Die beiden Maximalwerte wurden ausgewählt. Die „MVC-Force“ (Griffkraftaufgabe) beinhaltete ebenfalls drei Versuche bei denen der Griff mit allen Fingern so fest wie möglich umgriffen werden sollte um nach fünf Sekunden die Maximalkraft zu erreichen. Die Probanden absolvierten drei Versuche und hielten dabei den Griff vertikal und beobachteten die an einem Balken angebrachten Gleichgewichtsebenen. Zwischen den Versuchen machten die Teilnehmer eine Pause von zwei Minuten.

Hinsichtlich der „Produktion des konstanten Drehmoments“ fanden zwei Versuche für jede Drehmomentrichtung mit 20 Sekunden Intervallen zwischen den Versuchen statt. Der Griff sollte mit minimalem Aufwand 10 Sekunden gehalten werden (bei 10% des MVCT).

Weiters wurde die „Kraftproduktion“ mittels 12 Versuchen mit 20 Sekunden Intervallen zwischen den Versuchen gemessen. Einer Griffkraftlinie bzw. einem Rampenmuster sollte mittels Cursor von kleinstem erzielttem Wert bei der Produktion des konstanten Drehmoments bis zu 20% des MVCF in sechs Sekunden gefolgt werden. Die Probanden hielten den Griff in einer Lage bei 10% des MVCT in „Pronation“ und „Supination“.

Die Reihenfolge der Testung war immer dieselbe. Zuerst wurde mit den MVC-Tests begonnen. Darauf folgte die „Produktion des konstanten Drehmoments“ und zum Abschluss absolvierten die Teilnehmer noch die „Kraftproduktion“ mittels Griffkraftlinie/Rampenmuster.

Resultate (Shim et al., 2004, S.216-223)

Die Studie zeigte, dass bei älteren Personen eine Beeinträchtigung der Finger- und Handkraftproduktion vorliegt. Ein Verlust der Anzahl an motorischen Einheiten im Muskel und die Prozesse der Reinnervation führen zu größeren und langsameren motorischen Einheiten. Muskeln verlieren an Querschnittsfläche und Anzahl an Muskelfasern. Am meisten betroffen sind dabei die Typ II Fasern. Es kommt zu einer höheren Anzahl an Typ I Fasern im Alter. All diese Faktoren führten dazu, dass jüngere Personen bezüglich des MVCT-Tests (+28,9%) und des MVCF-Tests (+17,6%) bessere Werte erzielten als die älteren Personen. Wie in Abbildung 6 dargestellt, wurden die Personen in die Untergruppen „jüngere Männer“, „jüngere Frauen“, „ältere Frauen“ und „ältere Männer“ eingeteilt. Bei den MVCT-Tests erbrachten die Probanden bezüglich der Pronation in den vier Untergruppen Werte von 5.01 ± 1.04 , 3.46 ± 0.78 , 2.97 ± 0.58 und 2.26 ± 0.78 Nm. Hinsichtlich der Supination erreichten die vier Untergruppen Werte von 5.87 ± 1.17 , 3.71 ± 0.61 , 2.85 ± 0.49 und 2.36 ± 0.72 Nm. Die jüngeren Männer erzielten bei den MVCF Tests 96.5 ± 22.2 N, während die älteren Männer 81.7 ± 14.5 N erreichten. Bei den Damen erzielten die jüngeren Probanden 64.0 ± 11.3 N und die älteren Probanden 51.3 ± 5.7 N. Somit lässt sich ein durchschnittlicher Wert von 80,3N für jüngere Probanden und 66,5N für ältere Probanden bilden. Ältere Personen neigten in Punkto Kraftaufbringung vorrangig dazu, den Zeige- und Mittelfinger einzusetzen. Jüngere Probanden produzierten 42% der Gesamtkraft mittels Ringfinger und kleinen Finger. Ältere Probanden konnten mit diesen beiden Fingern lediglich 34% der Gesamtkraft erzielen und führten das vorgeschriebene Rampenmuster der Normalkraft weniger genau aus als die jungen Probanden.

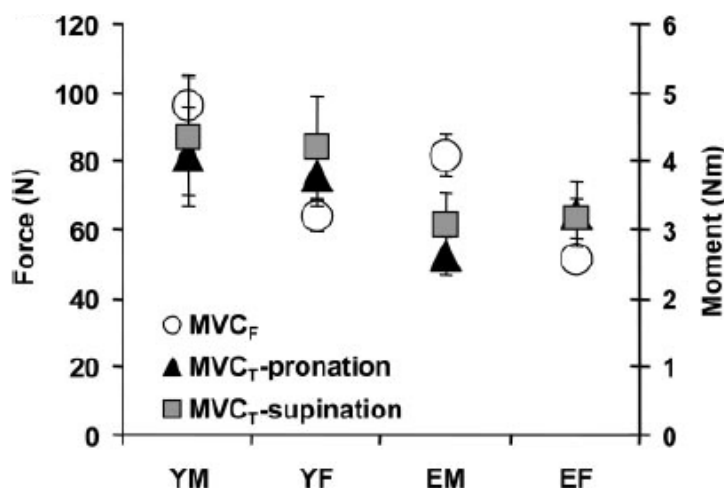


Abbildung 6: Resultate der Griffkraft und Drehmomente für die einzelnen Untergruppen (Shim et al., 2004, S.216)

Studie 4: Cerebellar grey matter explains bimanual coordination performance in children and older adults. (Boisgontier et al., 2018, S.109-118)

Ziel der Studie (Boisgontier et al., 2018, S.109-110)

Ermittlung des Alters, indem sich die bimanuelle Koordinationsleistung (Handdrehung nach innen/ außen/im Uhrzeigersinn/ gegen den Uhrzeigersinn) nicht mehr verbessert und abnimmt.
Definition von Gehirnregionen, die an der bimanuellen Koordination beteiligt sind.

Altersgruppen (Boisgontier et al., 2018, S.110-111)

An der Studie nahmen 17 Personen im Alter von 10 bis 20 Jahren, 32 Personen im Alter von 20 bis 40 Jahren, 28 Personen im Alter von 40 bis 60 Jahren, 32 Personen im Alter von 60 bis 80 Jahren teil.

Aufgabenstellung (Boisgontier et al., 2018, S.111-112)

Ein weißer Punkt soll beidhändig mit einem roten Punkt vor einem Computermonitor mittels Zeigefinger und Daumen verfolgt werden, während er sich entlang einer blauen Linie bewegt. Der Zielpunkt bewegte sich 10 Sekunden lang mit konstanter Geschwindigkeit von der Bildschirmmitte bis zum Ende der Ziellinie. Insgesamt fanden 12 Probeversuche und im Anschluss vier 6-Minuten-Blöcke, die aus 24 Versuchen pro Block bestanden, statt. Jeder Teilnehmer sollte somit 96 Versuche in einem Intervall von drei Sekunden absolvieren. Zwischen den Blöcken musste eine Pause von drei Minuten eingehalten werden. Mittels Drehknopf wurde der Cursor in die unterschiedlichen Richtungen bewegt. Dabei bedeutete „Drehknopf im Uhrzeigersinn mit der linken Hand“, dass sich der Cursor nach oben bewegte. „Drehknopf gegen den Uhrzeigersinn mit der linken Hand“ signalisierte, dass sich der Cursor nach unten bewegte. Darüber hinaus konnte der Proband den „Drehknopf im Uhrzeigersinn rechte Hand“ ausrichten um den Cursor nach rechts zu bewegen und den „Drehknopf gegen den Uhrzeigersinn mit der rechten Hand“ neigen, sodass sich der Cursor nach links bewegte. Jeder Block enthielt die vier Richtungen, die gemäß den fünf Frequenzverhältnissen 1:1, 1:2, 1:3, 2:1 und 3:1 (linke Hand: rechte Hand) durchgeführt wurden, was zu 20 verschiedenen Ziellinienrichtungen führte. Die Frequenz 1:1 wurde für jedes Koordinationsmuster zweimal wiederholt.

Resultate (Boisgontier et al., 2018, S.115-118)

Wie der Abbildung 7 zu entnehmen ist, zeigten die Ergebnisse, dass sich die bimanuelle Koordinationsleistung ab einem Alter von 20 Jahren nicht mehr verbessert und ab einem Alter von 40 Jahren abnimmt. Dieser frühere Rückgang könnte aufgrund der Komplexität einer bimanuellen im Vergleich zu einer unimanuellen Aufgabe erklärt werden. Die Struktur der grauen Substanz des Kleinhirn-ROI (Läppchen VI), der an der bimanuellen Koordination beteiligt ist, ist ein starker Prädiktor für die Koordinationsleistung der älteren Erwachsenen und auch der Leistung der Kinder. Die Ergebnisse zeigten auch, dass eine höhere Intensität der grauen Substanz im bilateralen primären motorischen Kortex (M1) mit einer höheren bimanuellen Koordinationsleistung bei älteren Erwachsenen im Zusammenhang steht. Jedoch kommt es im Alter zur Abnahme des M1-Volumens. Eine höhere Intensität der grauen Substanz im bilateralen primären somatosensorischen Kortex (S1) und im prämotorischen Kortex war generell mit einer geringeren bimanuellen Koordinationsleistung verbunden.

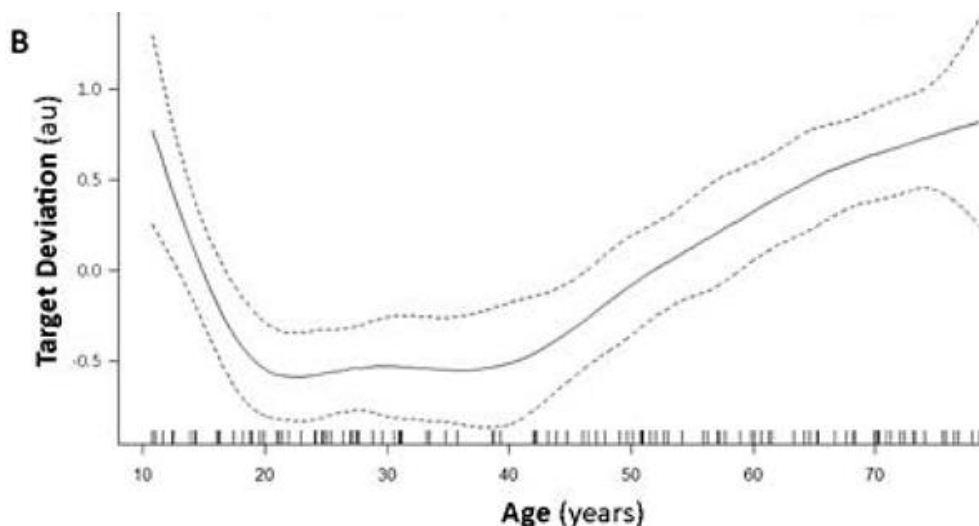


Abbildung 7: Altersspezifische Zielabweichungen der bimanuellen Koordinationsleistungen (Boisgontier et al., 2018, S.114)

Studie 5: The neural control of bimanual movements in the elderly: Brain regions exhibiting age-related increases in activity, frequency-induced neural modulation, and task-specific compensatory recruitment. (Goble et al., 2010, 1282-1292)

Ziel der Studie (Goble et al., 2010, S.1282)

Definition von altersbedingten Unterschieden in der Gehirnaktivierung während bimanuellen Koordinationsaufgaben

Altersgruppen (Goble et al., 2010, S.1283)

An der Studie nahmen 16 Personen im Alter von 21 bis 31 Jahren und 16 Personen im Alter von 61 bis 79 Jahre teil.

Aufgabenstellung (Goble et al., 2010, S.1283-1284)

Drei Aufgabenstellungen mit vier Zeitläufen (45%, 60%, 75% und 90% der kritischen Frequenz) sollten von den Probanden absolviert werden. Die erste Aufgabe war es spiegelsymmetrische Bewegungen mit gestrecktem Handgelenk (In-Phase) durchzuführen. Bei der zweiten Bewegung wurde eine parallele Bewegung mittels Beugung des Handgelenks/ Streckung des anderen Handgelenks (Anti-Phase) mit schnelleren Geschwindigkeiten absolviert. Der Start befand sich bei 0,5Hz und sollte alle fünf Sekunden um 0,125Hz erhöht werden. Die dritte Aufgabe war es die Handgelenke ruhigzustellen.

Resultate (Goble et al., 2010, S.1286-1292)

Wie man bei der Abbildung 8 erkennen kann, konnten bei beiden Altersgruppen in der In-Phase und Anti-Phase eine signifikante Verringerung der Koordinationsgenauigkeit und -stabilität festgestellt werden. Damit wurde eine Abnahme der Bewegungsamplitude mit erhöhter Bewegungsfrequenz sowohl bei jungen als auch bei älteren Probanden bemerkt. Ältere Erwachsene zeigten ausgedehntere Aktivierungen des Gehirns, um vergleichbare Leistungen in einer bimanuellen Handgelenkskoordinationsaufgabe zu erreichen. D.h. komplexe Bewegungen erfordern mit zunehmendem Alter größere neuronale Ressourcen. Die Gehirnfunktion älterer Menschen war durch eine stärkere altersbedingte Aktivierung in mehreren motorischen, sensorischen und kognitiven Regionen (SMA und SII links) gekennzeichnet.

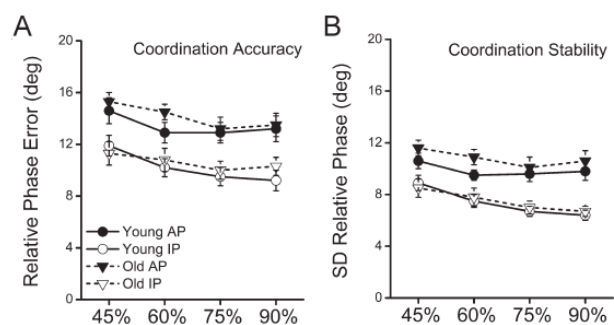


Abbildung 8: Koordinationsgenauigkeit (A) und Stabilität (B) bei jüngeren und älteren Probanden für jede Aufgabe und Frequenzbedingung (Goble et. al, 2010, S.1286)

Studie 6: Effects of Aging on Automatic and Effortful Processes in Bimanual Coordination (Wishart et al., 2000, S.85-93)

Ziel der Studie (Wishart et al., 2000, S.85)

Messung der altersbedingten Performance von zwei bimanuellen Koordinationsaufgaben bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

Experiment 1

Altersgruppen (Wishart et al., 2000, S.86)

An dem Experiment nahmen 10 Personen im Alter von 19 bis 25 Jahren, 10 Personen im Alter von 65 bis 73 Jahren und 10 Personen im Alter von 74 bis 83 Jahren teil.

Aufgabenstellung (Wishart et al., 2000, S.86-87)

Die Probanden hatten die Aufgabe zwei Gleitschlitten mit den oberen Gliedmaßen für 15 Sekunden auf einer Tischplatte zu bewegen. Das Intervall zwischen den Versuchen wurde mit sieben bis zehn Sekunden festgelegt. Zwei bimanuelle Zeitmuster (in-phase und anti-phase) bei jeweils fünf verschiedenen Bewegungsfrequenzen sollten durchgeführt werden. Bei der „In-Phase“ bewegte sich der linke und rechte Arm als Spiegelbild, d.h. die Wagen bewegten sich in gleichmäßigem Abstand von der Mittellinie weg und wieder zur Mittellinie zurück. Hinsichtlich der „Anti-Phase“ konnte mit dem linken und rechten Arm die Bewegung eines Scheibenwischers erkannt werden. Falls sich der linke Wagen maximal nach außen bewegt, bewegte sich der rechte Wagen maximal zur Mittellinie. Die Bewegung fand bei Metronomfrequenzen von 0,5Hz; 1,0Hz; 1,5Hz; 2,0Hz und bei einer frei wählbaren Frequenz statt. Insgesamt wurden diese zehn Versuche dreimal wiederholt d.h. in Summe absolvierte jede Person 30 Versuche. Die Gesamtdauer betrug 60 Minuten für jüngere Erwachsene und 90 Minuten für ältere Erwachsene.

Resultate (Wishart et al., 2000, S.87-89)

Bei Metronomfrequenzen von 0,5Hz und 1,0Hz zeigten sich keine Unterschiede in den Altersgruppen. Bei einer Metronomfrequenz von 1,5Hz (v.a. bei der „Anti-Phase“) führten die jüngeren Erwachsenen die Versuche genauer und stabiler durch als die Erwachsenen mittleren Alters, die wiederum eine genauere und stabilere Messung als die älteren Erwachsenen erzielten. Bei 2,0Hz waren genauere Werte der jüngeren Erwachsenen im Vergleich zu Erwachsenen mittleren und höheren Alters ersichtlich. Die letztgenannte Altersgruppe neigte bei höheren Frequenzen dazu langsamer zu werden.

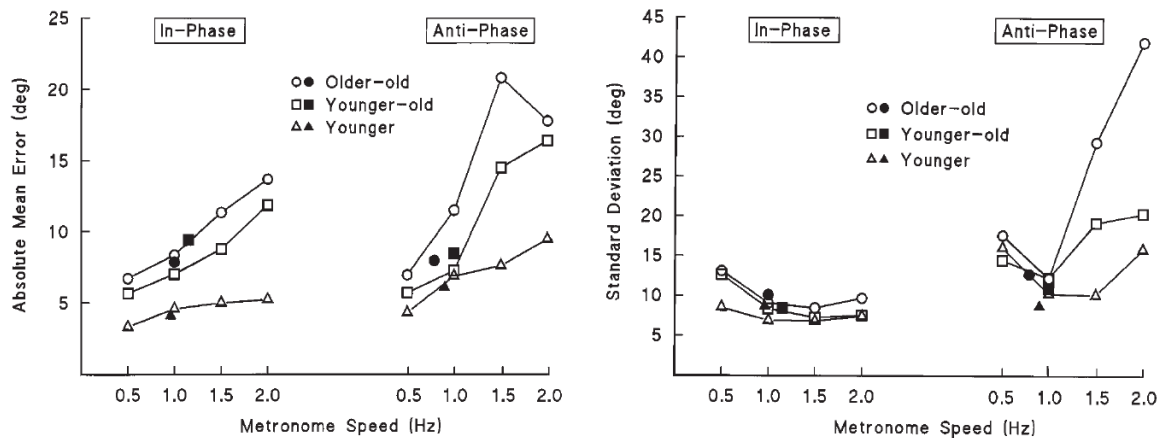


Abbildung 9: Experiment 1 – Absolute durchschnittliche Fehlerperformance (Genauigkeit) und Standardabweichungen in der relativen Phase (Stabilität) (Wishart et al., 2000, S.88)

Experiment 2

Altersgruppen (Wishart et al., 2000, S.90)

An dem Experiment nahmen 16 Personen im Alter von 19 bis 23 Jahren und 16 Personen im Alter von 66 bis 75 Jahren teil.

Aufgabenstellung (Wishart et al., 2000, S.90)

Die Probanden hatten die Aufgabe zwei Gleitschlitten mit den oberen Gliedmaßen für 15 Sekunden auf einer Tischplatte zu bewegen. Das Intervall zwischen den Versuchen wurde mit sieben bis zehn Sekunden festgelegt. Im Rahmen des zweiten Experiments wurden zwei Untergruppen für die jeweiligen Altersgruppen gebildet. Die „Stay-Group“ beinhaltete die Untergruppe, die versuchte das Bewegungskoordinationsmuster während des gesamten Prozesses aufrechtzuhalten. Bei Auftritt von Fehlern sollte das Muster wiedererlangt werden. Die zweite Untergruppe nannte sich „Do-not-intervene-Group“. Sie beabsichtigte bei einem Fehler im Bewegungskoordinationsmuster in ein komfortableres Muster zu wechseln. Die Probanden sollten wieder ein Zeitmuster (in-phase und anti-phase) bei jeweils vier verschiedenen Bewegungsfrequenzen durchführen. Bei der „In-Phase“ bewegte sich der linke und rechte Arm als Spiegelbild, d.h. die Wagen bewegten sich in gleichmäßigem Abstand von der Mittellinie weg und wieder zur Mittellinie zurück. Hinsichtlich der „Anti-Phase“ konnte mit dem linken und rechten Arm die Bewegung eines Scheibenwischers erkannt werden. Falls sich der linke Wagen maximal nach außen bewegt, bewegte sich der rechte Wagen maximal zur Mittellinie. Die Bewegung fand bei Metronomfrequenzen von 1,0Hz; 1,5Hz; 2,0Hz und 2,5Hz statt. Weiters wurden noch zwei Sätze an Instruktionen miteinbezogen, d.h. eine Untergruppe der Altersgruppen erhielt den identischen Ansatz wie bei Experiment 1.

Resultate (Wishart et al., 2000, S.90-92)

Auch beim zweiten Experiment war ein Unterschied der Altersgruppen ab 1,5Hz bzw. 2,0Hz zu erkennen. Die jüngeren Erwachsenen erbrachten genauere Leistungen als die älteren Erwachsenen. Vor allem ab 2,0Hz und 2,5Hz zeigten sich in der Anti-Phase bei der „do-not-Intervene-Group“ deutliche Unterschiede in der Bewegungskoordination. Es kam häufig zu einem Wechsel von der Anti-Phase zu der In-Phase. Ab einer Frequenz von 2,5Hz verringerte sich im Vergleich zu den 2,0Hz der Unterschied hinsichtlich der Stabilität und Genauigkeit der Bewegungsdurchführung der „Stay-Group“ und „Do-not-intervene-Group“ bei jüngeren und älteren Erwachsenen.

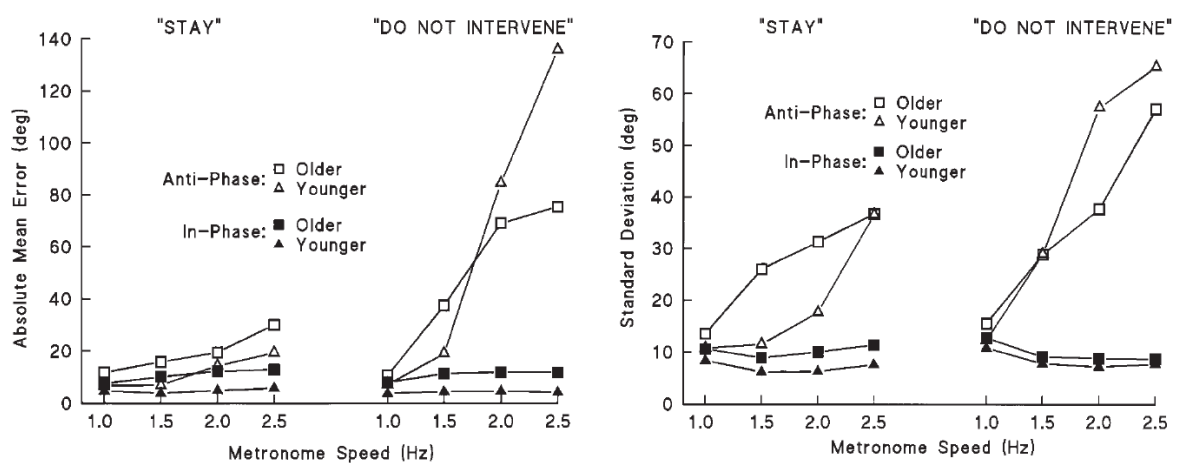


Abbildung 10: Experiment 2 - Absolute durchschnittliche Fehlerperformance (Genauigkeit) und Standardabweichung (Stabilität) in der relativen Phase (Wishart et al., 2000, S. 91)

Fazit der zwei Experimente (Wishart et al., 2000, S.90-93)

Die beiden Experimente brachten die interessante Erkenntnis, dass ein Rückgang der motorischen Funktionen, der mit fortschreitendem Alter einhergeht, nicht absolut, sondern selektiv ist. Koordinative Aufgaben wie die „In-phase-Koordination“ bei allen Geschwindigkeiten und die „Anti-phase-Koordination“ bei langsamen und bevorzugten Geschwindigkeiten, die automatisch durchgeführt wurden, präsentierten sich hinsichtlich Leistungsstabilität und Genauigkeit in allen Altersgruppen gut. Ab höheren Geschwindigkeiten, wie bei 1,5Hz zeigten sich v.a. in der „Anti-Phase“ Unterschiede in der Bewegungskoordination bei jüngeren und älteren Personen. Es zeichnete sich daher eine deutliche Schwierigkeit bei „Anti-Phase“-Aufgaben in der Durchführung der rhythmischen Bewegung bei höheren Bewegungsgeschwindigkeiten ab. Bei Anwendung der „do-not-intervene“-Strategie wurde beobachtet, dass ältere Erwachsene im Gegensatz zu jüngeren Erwachsenen die Frequenz der Bewegung verlangsamten und vermehrt im mühsameren Anti-Phase-Bewegungsmuster blieben. Sie entschieden sich nicht in die „In-Phase“ also in das gewohnte Muster zu wechseln.

Studie 7: Age-Related Changes in Frontal Network Structural and Functional Connectivity in Relation to Bimanual Movement Control (Fujiyama et al., 2016, S.1808-1815)

Ziel der Studie (Fujiyama et al., 2016, S.1808)

Untersuchung altersbedingter Veränderungen interhemisphärischer Effekte vom dorsolateralen präfrontalen Kortex und dorsalen prämotorischen Kortex bis zum kontralateralen primären motorischen Kortex (M1) während einer komplexen bimanuellen Koordinationsaufgabe

Altersgruppen (Fujiyama et al., 2016, S.1809)

An der Studie nahmen 15 Personen im Alter von 20 bis 25 Jahren und 13 Personen im Alter von 63 und 69 Jahren teil.

Aufgabenstellung (Fujiyama et al., 2016, S.1809-1812)

Die Probanden hatten die Aufgabe, eine komplexe bimanuelle visuomotorische Aufgabe (BTT) zu bewältigen. Die Teilnehmer saßen auf einem Stuhl und platzierten beide Arme auf einem Tisch. Die Handflächen waren auf Handballenauflagen gerichtet und die Ellbogen wurden auf einen Winkel von 135° eingestellt. Durch die Handballenauflagen sollte sich die Handmuskulatur entspannen. Damit konnte die Freiheit der Zeigefinger gewährleistet werden. Die Zeigefinger wurden in eine kleine Rille gelegt, um die Fingerspitze im Zifferblatt zu positionieren. Die Hände der Teilnehmer sollten bedeckt werden, um die Aufmerksamkeit auf den 80 cm vor ihnen platzierten Bildschirm zu lenken. Ziel war es, ein sich bewegendes Ziel, das mit einem Cursor auf einem Bildschirm dargestellt wurde, durch Drehen von Scheiben genau zu verfolgen. Die Teilnehmer mussten die beiden Scheiben im Uhrzeigersinn mit gleichen (Isofrequenz=1:1) oder unterschiedlichen (Nicht-Isofrequenz=1:3, 3:1) Frequenzverhältnissen und somit mit einer jeweils anderen Aufgabenverteilung je Hand (1:1, 1:3, 3:1) drehen. Beispielsweise wäre mit dem Verhältnis von 1:3 gemeint, dass der Proband seine rechte Hand dreimal schneller bewegt als seine linke Hand. Das Intervall zwischen den Versuchen betrug drei Sekunden. Die Aufgabe begann mit der Anzeige einer blauen Ziellinie, die bis zum Ende des Versuchs vorgelegt wurde. Zwei Sekunden nach dem Einsetzen der Zielvorlage erfolgte für 216 ms ein auditorischer Imperativreiz. Gleichzeitig begann sich ein weißer Punkt entlang der Ziellinie vom Start- bis zum Endpunkt mit konstanter Geschwindigkeit zu bewegen (Dauer: 7 Sekunden). Durch gleichmäßige zyklische Drehung der beiden Zifferblätter konnte der Punkt mit dem linken und rechten Zeigefinger verfolgt werden. Der Bildschirm zeigte den Probanden visuelle Stimulationen und Online-Feedback. Visuelles Feedback demonstrierte ein roter Cursor, der die Verfolgungsbahn des Probanden anzeigte.

Alle Teilnehmer absolvierten zunächst eine MRI-Sitzung gefolgt von drei experimentellen TMS Sitzungen mit insgesamt 12 experimentellen Blöcken zur Bewertung der interhemisphärischen Interaktionen (IHI) bei einer BTT. Die TMS Sitzungen erfolgten an unterschiedlichen Tagen. Für jede TMS Sitzung wurden im Vorhinein jeweils 12 Übungsversuche für jede Frequenz-1:1, 1:3, 3:3 durchgeführt und zunächst die „resting motor threshold“ (rMT), also die motorische Ruheschwelle und die Stimulusintensität bestimmt. Je Sitzung sollte eine der drei interhemisphärischen Wechselwirkungen (DLPFC-M1, PMd-M1 oder M1-M1) in beide Richtungen von links nach rechts und von rechts nach links untersucht werden. DLPFC wird als dorsolateraler präfrontaler Kortex, PMd als dorsaler prämotorischer Kortex und M1 als primärer motorischer Kortex bezeichnet.

Die Teilnehmer durchliefen für beide Richtungen je zwei Blöcke zu je 3 verschiedenen Bewegungsfrequenzen. Insgesamt fanden daher sechs aufeinanderfolgende Blöcke von linker nach rechter Hemisphäre und sechs aufeinanderfolgende Blöcke von der rechten zur linken Hemisphäre statt. Die Zeit zwischen den Sitzungen betrug mindestens 48 Stunden. Der Teststimulus wurde entweder zu Beginn der Zielvorlage (TT0ms) oder 50ms vor dem auditorischen Imperativreiz (IS-50ms) gesetzt, während der Konditionierungsreiz auf DLPFC-M1, PMd-M1, oder M1-M1 mit bestimmten IHI angewendet wurde (d. h. 60 ms für DLPFC, 8-40ms für PMd-M1, und 10 bzw. 40 ms für M1).

12 Teststimulationen (TS) und 12 Konditionierungs- und Teststimulationen (CS-TS) Versuche wurden für jedes Interstimulusintervall (ISI) durchgeführt. Insgesamt konnten daher 36 TMS Versuche pro Block gezählt werden. Ein Block beinhaltete 12 TS-Versuche, 12 CS-TS-Versuche für kurze Intervalle (SIHI: 8ms für PMd-M1 und 10ms für M1) und 12 CS-TS-Versuche für lange Intervalle (40ms) und zwei zusätzliche Versuche. Diese wurden ausschließlich nur für PMd-M1 oder M1-M1 durchgeführt. Für DLPFC wurden 26 Versuche pro Block absolviert, also 12 TS-Versuche und 12 CS-TS-Versuche für lange Intervalle (60ms) und zwei zusätzliche Versuche durchgeführt. Zwischen den Blöcken war eine Pause von 5min vorgesehen.

Resultate (Fujiyama et al., 2016, S.1813)

Wie in Abbildung 11 ersichtlich, zeigten sich Altersunterschiede hinsichtlich jüngerer und älterer Erwachsener im Nichtisofrequenz-Modus (1:3, 3:1). Die 3:1 Bedingung war aufgrund der höheren Fehleranfälligkeit schwieriger durchzuführen als die 1:3 Bedingung. Im Vergleich zu den jüngeren Teilnehmern belegten die älteren Probanden vergleichbare Leistungen bei Isofrequenz Bedingungen (1:1).

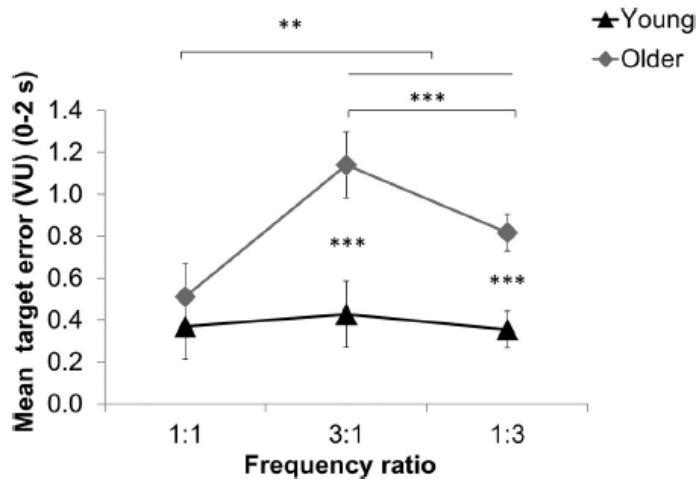


Abbildung 11: Durchschnittliche Fehlerbewertung für unterschiedliche Bewegungsfrequenzen (Fujiyama et al., 2016, S.1813)

Betreffend der rmT wurde bei älteren Erwachsenen eine signifikant höhere rmT (47.99 ± 1.34) als bei jungen Erwachsenen (42.61 ± 1.26) während der Sitzungen festgestellt. Für die Interaktion zwischen DLPFC und kontralateralem M1 gab es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Altersgruppen (junge Probanden: 0.72 ± 0.17 ; ältere Probanden: 0.67 ± 0.15) und Richtungen (R→L, 0.68 ± 0.16 ; L →, 0.71 ± 0.16). Auch für die M1-M1 ergab sich kein signifikanter Unterschied in den Altersgruppen (junge Probanden: 0.64 ± 0.13 ; ältere Probanden: 0.69 ± 0.21) und Richtungen R→L, 0.64 ± 0.13 ; L→R, 0.69 ± 0.22) und während der Interstimulusintervalle (SIHI, SIHI, 0.65 ± 0.15 ; LIHI, 0.68 ± 0.20).

Bei älteren Erwachsenen ergaben sich signifikant negative Zusammenhänge zwischen den BTT-Zielfehlerwerten und den gefundenen „fractional anisotropy“-Werte (FA-Werte), die von der linken Hemisphäre stammen. Bei einer Frequenz von 3:1, also wenn sich die linke Hand schneller bewegen muss als die rechte Hand konnte die schlechte bimanuelle Verfolgung der Leistung nachgewiesen werden. Abbildung 12 verdeutlicht, dass der durchschnittliche FA-Wert für die interhemisphärischen Wechselwirkungen bei jüngeren Erwachsenen signifikant höher (0.39 ± 0.02) als bei älteren Erwachsenen (0.36 ± 0.02) war. Eine höhere FA war assoziiert mit geringerer Fehleranfälligkeit. Bei Vergleich der Wechselwirkungen wurde ein signifikant niedrigerer Wert im Bereich DLPFC-M1 (0.35 ± 0.02) im Gegensatz zu PMD-M1 (0.39 ± 0.02) und M1-M1 (0.40 ± 0.02) erzielt.

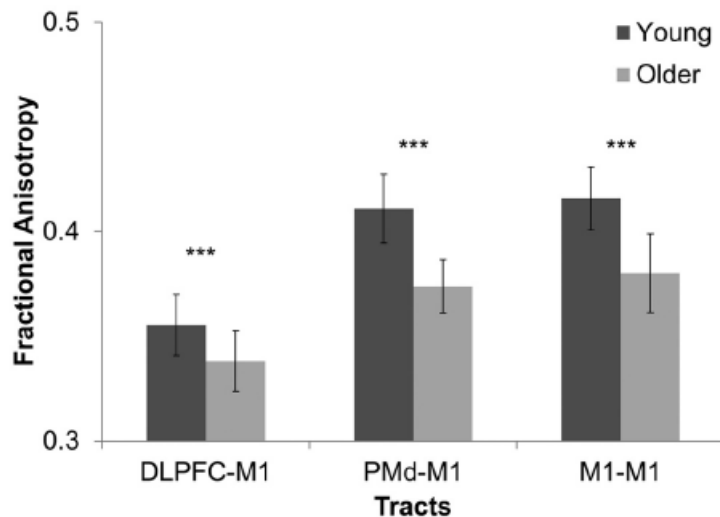


Abbildung 12: Durchschnittlicher FA bei jüngeren und älteren Erwachsenen (Fujiyama et al., 2016, S.1815)

Der PMd-M1-Bereich blieb im gesunden Alter weitgehend erhalten. Im Gegensatz dazu schienen Projektionen von DLPFC nach kontralateral M1 mit dem Alter zurückgegangen zu sein. Dies könnte für die verminderte bimanuelle Leistung verantwortlich sein.

Veränderungen sowohl in der Gehirnstruktur als auch in der neurophysiologischen Funktion, die die homotopen und heterotopen interhemisphärischen Wechselwirkungen (IHI) regulieren, sind bei älteren Erwachsenen für einen Leistungsabfall verantwortlich. Beim Vergleich der beiden Altersgruppen zeigten ältere Erwachsene mehr Leistungseinbußen bei schwierigen bimanuellen Bedingungen. Weiters war im höheren Alter eine Verringerung der optimalen Mikrostruktur der weißen Substanz des Gehirns und eine verminderte Fähigkeit, die Interaktion zwischen dem dorsolateralen und präfrontalen Cortex und M1 zu regulieren, ersichtlich.

Studie 8: The Effect of Aging on Adaptive Eye-Hand Coordination (Guan & Wade, 2000, S.151-161)

Ziel der Studie (Guan & Wade, 2000, S.151)

Feststellung von altersspezifischen Veränderungen in der Auge-Hand-Koordination.

Altersgruppen (Guan & Wade, 2000, S.153)

An der Studie nahmen 21 Personen im Alter von 20 bis 36 Jahren und 21 Personen im Alter von 67 bis 87 Jahren.

Aufgabenstellung (Guan & Wade, 2000, S.155-156)

Die Probanden durchliefen vier unterschiedliche Phasen. Als erste Phase absolvierten die Teilnehmer die Voranpassungsphase. Die Personen saßen vor einem Tisch, wobei die Höhe des Stuhls so angepasst wurde, dass die Personen ihren Unterarm bequem auf den Tisch legen konnten. Der Kopf der Teilnehmer wurde in einem Kopfstück befestigt und ein Mundstück angebracht, damit der Kopf in seiner Position fixiert werden konnte. Während der Testung war es dem Probanden möglich, den Kopf in Richtung links und rechts zu bewegen. Weiters musste der Proband noch eine Glasbrille tragen. Marker B wurde am Mittelfinger der rechten Hand der Personen befestigt. Probanden absolvierten drei Präexpositionstests (Tests für Auge-Hand, Kopf-Hand und Auge-Kopf). Diese Tests ermöglichten eine Bewertung der altersbedingten Veränderung in der Koordination. Alle fünf Finger der Hand waren ausgestreckt und der Daumen befand sich am höchsten Punkt. Die Personen hatten für den Prozess, also die Bewegungszeit der Handhebung und –absenkung, vier Sekunden Zeit und erhielten im Vorhinein drei Übungsversuche und verbales Feedback. Während des Auge-Handkoordinationstests wurde der Kopf fixiert, sodass der Proband lediglich gerade aussehen konnte. Die Arme der Probanden wurden verdeckt und sie hatten die Aufgabe ein ausgewähltes visuelles Ziel zu betrachten und mit der rechten Hand auf dieses Ziel zu zeigen. Insgesamt absolvierte der Proband zehn Versuche (jeweils zwei Versuche der fünf visuellen Aufgaben).

Beim Kopf-Handkoordinationstest wurde der Kopf nicht fixiert. Die Probanden konnten somit den Kopf nach links und rechts bewegen. Sie hatten die Aufgabe, die Augen zu schließen und den Kopf langsam so weit nach links/rechts zu drehen, bis sie aufgefordert wurden die Bewegung zu stoppen. Jeder Stopp befand sich auf einer unterschiedlichen Position (aber innerhalb von 25° links/rechts von der mittleren Körperachse). Die Probanden wurden angewiesen, mit der rechten Hand in die Richtung der Nase zu zeigen. Die Personen durchliefen fünfmal den Test.

Beim Auge-Kopfkoordinationstest wurde der Kopf nicht fixiert. Probanden wurde eine Zahl vorgelesen. Sie hatten die Aufgabe, den Kopf in die Richtung der Zahl zu neigen und die Zahl mit den Augen anzuvisieren. Insgesamt absolvierten die Teilnehmer zehn Versuche (jeweils zwei Versuche der fünf visuellen Aufgaben).

Die Anpassungsphase bestand aus Prismenbelichtungs- und Nachbelichtungszeitraum. In der Prismenbelichtungszeit wurde die Verdeckung der Arme aufgehoben, sodass es dem Probanden ermöglicht wurde, seine Arme schon früher zu sehen. (früheres visuelles Feedback). Der Kopf war nach vorne gerichtet und die Person trug eine 20-Dioptrien-Brille, womit das Sichtfeld auf $11,3^\circ$ in beide Richtungen eingeschränkt wurde. Die Probanden konnten mit dieser Brille auch nicht ihre auf dem Tisch platzierten Hände wahrnehmen, da der Rahmen der Brille die Sicht blockierte. Der Proband führte insgesamt 100 Bewegungen aufgeteilt in fünf Sätze zu je 20 Bewegungen durch. Zwischen den Sätzen wurde eine Pause von 30 Sekunden gemacht, in denen der Proband seinen Augen schloss und ausruhte. Die Hand sollte die Zeigebewegung innerhalb von vier Sekunden durchführen. Bei der Nachbelichtungszeit bekam der Proband eine Glasbrille. Darauf wurden die drei Koordinationstests „Auge-Hand“, „Kopf-Hand“ und „Auge-Kopf“ durchgeführt. Insgesamt absolvierte der Proband fünf Sätze je Koordinationstest. Beim Koordinationstest für „Auge-Hand“ und „Auge-Kopf“ gab es einen Versuch pro visuelle Aufgabe.

Die letzten beiden Phasen wurden Reduktionsphase 1 und 2 bezeichnet. Jede von den beiden Reduktionsphasen beinhaltete eine reduzierte Behandlungszeit und eine nachreduzierte Testzeit. Jede Altersgruppe wurde in zwei Untergruppen geteilt. Untergruppe eins „decay“ schloss die Augen für fünf Minuten und durchlief unmittelbar nach der Pause drei nachreduzierte Tests (Tests für Auge-Hand, Kopf-Hand und Auge-Kopf). Um einen Vergleich möglicher Unterschiede generieren zu können, wurden die drei Vorbelichtungstests mit den drei nachreduzierten Tests verglichen. Untergruppe zwei „readaptation“ bekam eine Glasbrille und hatte die Aufgabe, fünf Versuche mit jeweils 10 Bewegungen durchzuführen. Danach schlossen die Probanden für 20 Sekunden die Augen. Die Testung dauerte insgesamt fünf Minuten. Gleich im Anschluss wurden nachreduzierte Tests durchgeführt, die vom Aufbau identisch mit den Vor- und Nachbelichtungstests waren. Sie beinhalteten fünf Versuche. Beim Koordinationstest für „Auge-Hand“ und „Auge-Kopf“ gab es einen Versuch pro visuelle Aufgabe. Reduktionsphase zwei war eine Wiederholung der Reduktionsphase eins.

Resultate (Guan & Wade, 2000, S.157-161)

Das Ausmaß der Anpassung der Bewegungskoordination war bei der jüngeren Altersgruppe signifikant besser als bei der älteren Gruppe. Die Ergebnisse wurden so interpretiert, dass die Auge-Hand-Koordination mit zunehmenden Alter der Probanden abnimmt. Die Anpassung der Zeigebewegung erfolgte hauptsächlich bei den Tests für Auge-Hand-Koordination und Kopf-Hand-Koordination. Lediglich geringe bis keine Anpassung konnte man bei Augen-Kopf-Koordination verzeichnen.

Wie in Abbildung 13 ersichtlich, wurde bei der Reduktionsphase für die Untergruppe zwei „readaptation“ in der experimentellen Phase eine erhebliche Reduzierung in der Gesamtmodalität und propriozeptiven Modalität festgestellt. Hinsichtlich visueller Modalität fand keine Reduzierung statt.

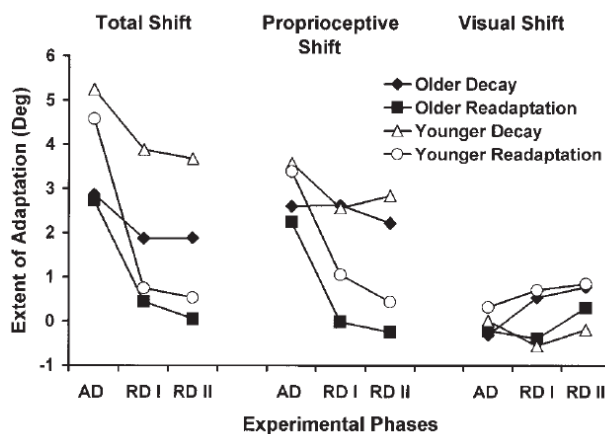


Abbildung 14: Altersspezifischer Vergleich von „TS“, „PS“ und „VS“ in der jeweiligen Anpassungs- und Reduzierungsphasen (Guan & Wade, 2000, S.158)

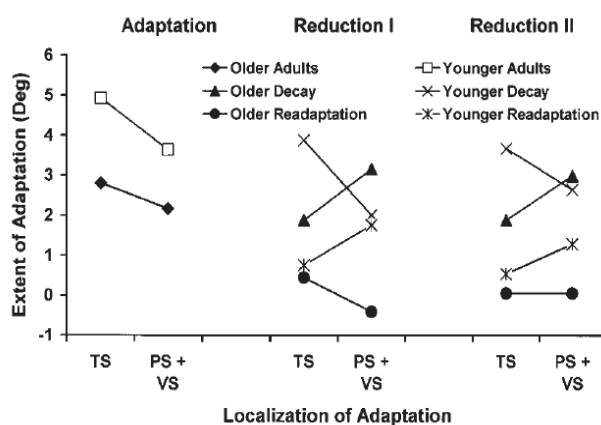


Abbildung 13: Altersspezifischer Vergleich von "TS" mit der Summe von "PS+VS" in der jeweiligen Anpassungs- und Reduzierungsphase (Guan & Wade, 2000, S.159)

Die Propriozeption wurde laut Ergebnissen durch Alterung stärker in Mitleidenschaft gezogen als die visuelle Modalität. Dies könnte eine Erklärung sein für die reduzierte Fähigkeit älterer Personen in der Anpassung von Zeigebewegungen bei einer Prismenbrille. In Abbildung 14 wurde das mittlere Ausmaß der Anpassungsfähigkeit der Gesamtmodalität mit der Summe von propriozeptiver Modalität und visueller Modalität in der Anpassungs- und in den beiden Reduzierungsphasen verglichen. In der Anpassungsphase war das mittlere Ausmaß der Anpassungsfähigkeit der „TS“ höher als die Summe von „PS“ und „VS“. Die älteren Probanden verzeichneten einen geringeren „TS-Anteil“ als die jüngeren Teilnehmer. Die jüngere „decay“-Gruppe zeigte eine Unteradditivität ($TS > PS + VS$), wobei die jüngere „readaptation“-Gruppe und die ältere „decay“-Gruppe eine Überadditivität ($TS < PS + VS$) aufwiesen. Die Ergebnisse zeigten, dass mit zunehmenden Alter die Anpassungsfähigkeit des Wahrnehmungsmotors abnimmt. Dieser Rückgang ist auf eine Veränderung der strategischen Kontrolle und einer Abnahme räumlicher Ausrichtung zurückzuführen.

Studie 9: Age-related differences in proprioceptive and visuo-proprioceptive function in relation to fine motor behavior (Liutsko et al., 2014, S.221-228)

Ziel der Studie (Liutsko et al., 2014, S.221)

Untersuchung feinmotorischen Verhaltens unter zwei sensorischen Bedingungen (propriozeptiv + visuell (PV) und propriozeptiv (P)) und in zwei Arten von Bewegungsebenen (frontal und transversal) für beide Hände (dominante (D) und nichtdominante (ND) Hand)

Altersgruppen (Liutsko et al., 2014, S.223)

An der Studie nahmen 41 Personen im Alter von 12 bis 17 Jahren, 63 Personen im Alter von 18 bis 29 Jahre, 67 Personen im Alter von 30 bis 64 Jahre und 25 Personen im Alter von 65 bis 95 Jahren.

Aufgabenstellung (Liutsko et al., 2014, S.223-224)

Die Probanden saßen auf einem Stuhl vor einem Computertest (d.h. vor einem Touchscreen mit einem sensorischen Stift). Sie hatten die Aufgabe eine Modelllinie vom Ausgangspunkt bis zum Ende und wieder zurück zu verfolgen. Am Anfang war es noch möglich, die Modelllinie zu sehen. Nach ein paar Versuchen sollte ein Stück Pappe zwischen dem Probanden und dem Computerbildschirm gelegt werden, sodass es dem Teilnehmer nicht mehr möglich war, die aktive Handposition bzw. die Modelllinie zu sehen. Der Startpunkt war für alle Probanden gleich. Die Modelllinie änderte ihre Farbe von rot zu grün, sobald der Proband die richtigen Koordinaten für den Startpunkt erreicht hat. Die Daten wurden aufgezeichnet, sobald die Linie die grüne Farbe annahm. Feinmotorisches Verhalten konnte anhand der Liniengenauigkeit und Arbeitsgeschwindigkeit beurteilt werden. Gemessen wurde in frontaler und transversaler Richtung bzw. zu den zwei Testbedingungen PV + P. Die Hand, die für die Aufgabe verwendet wurde, war nur in Verbindung mit dem Stift.

Resultate (Liutsko et al., 2014, S.224-228)

In einem quadratischen Modell war die Präzision der feinmotorischen Leistung im jungen Alter von 12 Jahren am geringsten. Erst danach verbesserte sich die Leistung, bis sie im mittleren Alter einen Punkt erreicht, an dem die Bewegung mit der höchsten Präzision ausgeführt wurde. Anschließend erfolgte bis ins hohe Alter ein kontinuierlicher Abbau der Ungenauigkeit des feinmotorischen Verhaltens. Es ergab sich dabei ein signifikanter Unterschied der Altersgruppen hinsichtlich der Präzision feinmotorischer Aufgaben. Probanden im Alter von 12-17 Jahren erbrachten signifikant schwächere Leistungen als die Teilnehmer der Altersgruppen von 18-29 Jahren und 30-64 Jahren, aber bessere Leistungen als die Probanden im Alter von 65-95 Jahren.

Abbildung 15 zeigt eine grafische Darstellung der Mittelwerte für die beiden sensorischen Bedingungen visuell und propriozeptiv bezüglich des Alters der Probanden. Die P- und PV-Rückmeldungen sind ab einem Alter von 20 Jahren gut aufeinander abgestimmt. Ab einem Alter von 48-50 Jahren beginnen sie deutlich auseinanderzugehen. Die P-Bedingung zeigt eine höhere Ungenauigkeit der Feinmotorik ab einem Alter von 48-50 Jahren. Dieser Trend nahm im höheren Alter kontinuierlich zu. Die Ungenauigkeit der Feinmotorik nimmt in der transversalen Bewegungsebene tendenziell zu. Ergebnisse zeigten für transversale Bewegungen einen Wendepunkt bei propriozeptiven Bedingungen im Alter von 35/31 Jahre für nicht dominante/dominante Hand und bei visuellen-propriozeptiven Bedingungen bei 45/48 Jahre für nicht dominante/dominante Hand. Die Mittelwerte der Feinmotorik in der Frontalbewegung zeigten hingegen ein vielfältigeres Bild bzw. eine geringere Anpassung. Ein Wendepunkt in der Frontalbewegung wurde bei propriozeptiven Bedingungen bei einem Alter von 23 Jahren und bei visuellen-propriozeptiven Bedingungen bei einem Alter von 26 Jahren festgestellt.

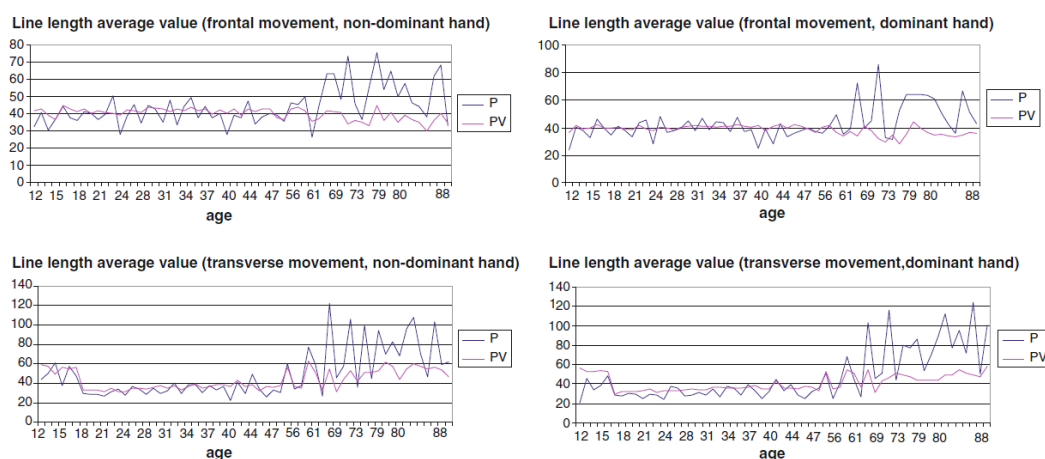


Abbildung 15: Durchschnittswerte der Linienlänge pro Alter bei unterschiedlichen Bedingungen (Liutsko et al., 2014, S.225)

Bezüglich der Altersgruppen zeigten sich bei der Geschwindigkeit der Aufgabenbewältigung schnellere und weniger variable Leistungen im Alter von 30 bis 64 Jahren und langsamere und höhere variable Leistungen im jungen und höheren Alter. Punkto Handsymmetrie wurden die niedrigsten symmetrischen Zusammenhänge zwischen der dominanten und der nicht-dominanten Hand bei Bewältigung der Aufgabe bei Probanden im Alter von 12-17 Jahren bei propriozeptiven Bedingungen erkannt. Die Zusammenhänge für die Leistungen mit beiden Händen bei propriozeptiven Bedingungen erhöhten sich im Alter für transversale und frontale Bewegungsrichtungen und lagen bei $p=0,37$ und $p=0,87$. Weiters wurden signifikante Zusammenhänge hinsichtlich der Frontalbewegung bei den PV-Testbedingungen für die Altersgruppe 18-29 Jahre ($p=0,31$ und $p=0,54$) und für die Altersgruppe von 30-64 Jahre ($p=0,45$ und $p=0,84$) gefunden. Bei älteren Personen war ein Zusammenhang zwischen den beiden Händen nur signifikant bei Frontalbewegungen ($p=0,46$).

6.2. Altersspezifische Veränderungen des motorischen Lernens

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Veränderung des Erlernens von motorischen Fähigkeiten im Leben eines Menschen. Die Teilnehmer hatten die Aufgabe, eine koordinative Aufgabe an mehreren Testtagen zu absolvieren. Dabei soll die Entwicklung des Erlernens von koordinativen Fähigkeiten aufgezeichnet und somit ein Vergleich von jungen und älteren Probanden hergestellt werden. Die folgenden sechs Studien dienen dazu, altersspezifische Merkmale bezüglich der motorischen Leistungsfähigkeit des Gehirns zu konzipieren. Um eine Vergleichbarkeit der Teilnehmer zu garantieren, hatten die Probanden keinerlei gesundheitliche Einschränkungen.

Studie 1: Switching between hands in a serial reaction time task: a comparison between young and old adults (Hoff et al., 2015, S.1-7)

Ziele der Studie (Hoff et al., S.1-2)

Vergleich der bimanuellen Fertigkeiten und deren Trainierbarkeit bei jungen und alten Menschen im Zuge einer seriellen Reaktionszeitaufgabe.

Altersgruppen (Hoff et al., S.3)

An der Studie nahmen 26 Personen im Alter von 20 bis 35 Jahren und 26 Personen im Alter von 50-74 Jahre teil.

Aufgabenstellung (Hoff et al., S.3)

Die bimanuelle serielle Reaktionszeitaufgabe wurde an zwei Trainingstagen (TD1 und TD2) absolviert und umfasste eine Bewegungsabfolge von insgesamt 15 Buchstaben, wobei insgesamt 30 Wiederholungen (L1-L30) der Sequenz durchgeführt wurden. Vor L1 wurde eine zufällige Sequenz und nach der 30. Wiederholung sollte noch eine zufällige Sequenz durchgeführt werden. Die Aufgabe beinhaltete zehn Wechsel innerhalb der gleichen Hand und vier Wechsel zwischen den beiden Händen. Dabei wurde für die Taste „M“ der Mittelfinger und die Taste „I“ der Zeigefinger verwendet. Großbuchstaben mussten mit der linken Hand und Kleinbuchstaben mit der rechten Hand geschrieben werden. Bevor das Experiment startete durchliefen die Probanden fünf Übungsversuche.

Resultate (Hoff et al., 2015, S.4-7)

Bei der ersten zufälligen Sequenz zeigten die älteren Probanden im Vergleich zu den jüngeren Probanden signifikant längere Reaktionszeiten bei der Bewältigung der Aufgabe (Ältere Probanden: 14.61 ± 0.92 s, Jüngere Probanden: 9.61 ± 0.56 s). Bei L1 war ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen den älteren und jüngeren Probanden ersichtlich. (Ältere Probanden: 10.44 ± 0.66 s, Jüngere Probanden: 6.87 ± 0.48 s) Diese Erkenntnis sollte die Abbildung 16A verdeutlichen. Wie in Abbildung 16B ersichtlich ist, war die sequenzspezifische Verbesserung ebenfalls stärker ausgeprägt bei jüngeren Probanden als für ältere Probanden. (Ältere Probanden: $54.97 \pm 3.49\%$, Jüngere Probanden: $83.96 \pm 7.24\%$) In Abbildung 16C lässt sich erkennen, dass beide Altersgruppen eine Reduktion der Reaktionszeiten aufwiesen, wobei die älteren Probanden eine signifikant langsamere Reaktionszeit als die jüngeren Probanden erzielten.

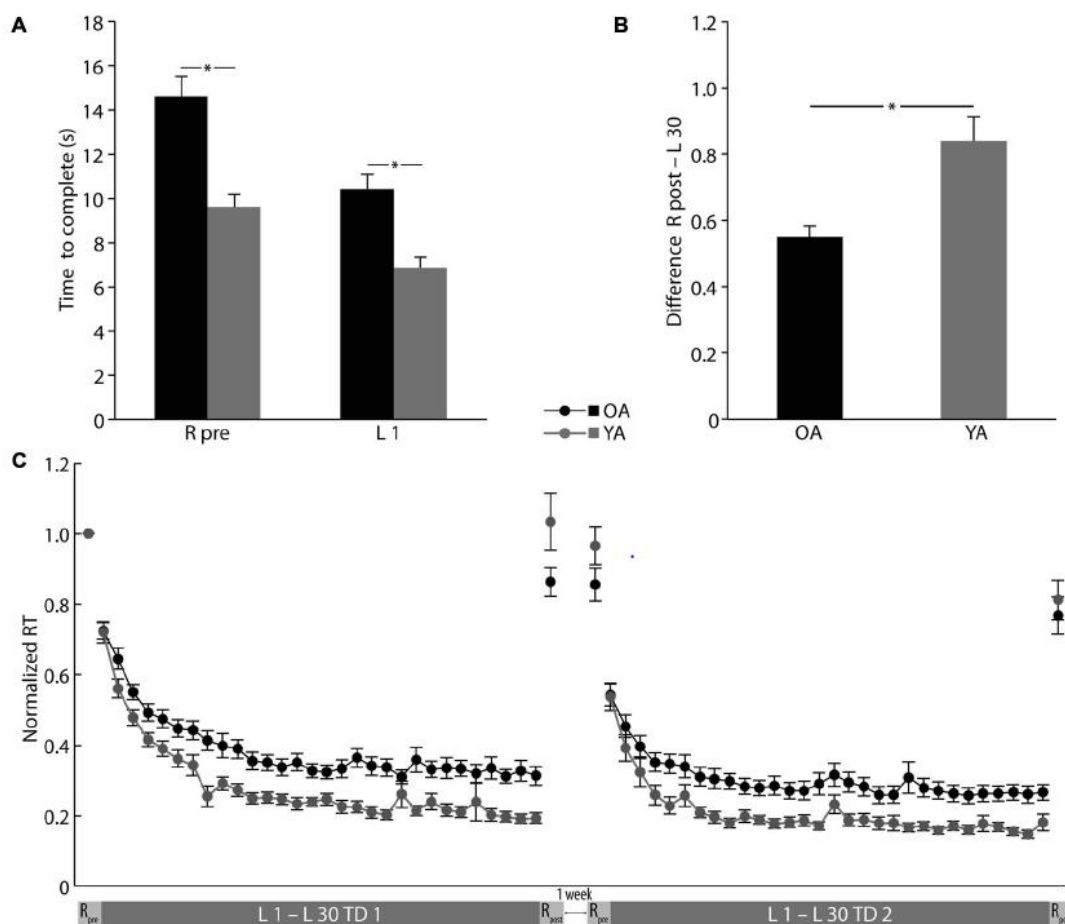


Abbildung 16: Altersspezifische Reaktionszeiten (Hoff et al., 2015, S.5)

Abbildung 17A zeigt, dass bei Bin 1 (Sequenz 1-6) eine signifikant längere Reaktionszeit beim Wechsel zwischen den Händen festgestellt wurde (Ältere Probanden: 719.01 ± 83.56 ms, Jüngere Probanden: 418.81 ± 53.94 ms). Dieses Phänomen nennt sich „Switch-Costs“, womit ein Defizit von bimanuellen Reaktionen zwischen den Händen nachgewiesen werden konnte. Abbildung 17B zeigt eine Reduzierung der Reaktionszeiten während der Trainingstage TD1 und TD2. Beide Gruppen erzielten daher bei zunehmender Wiederholungsanzahl eine Verbesserung der Messung.

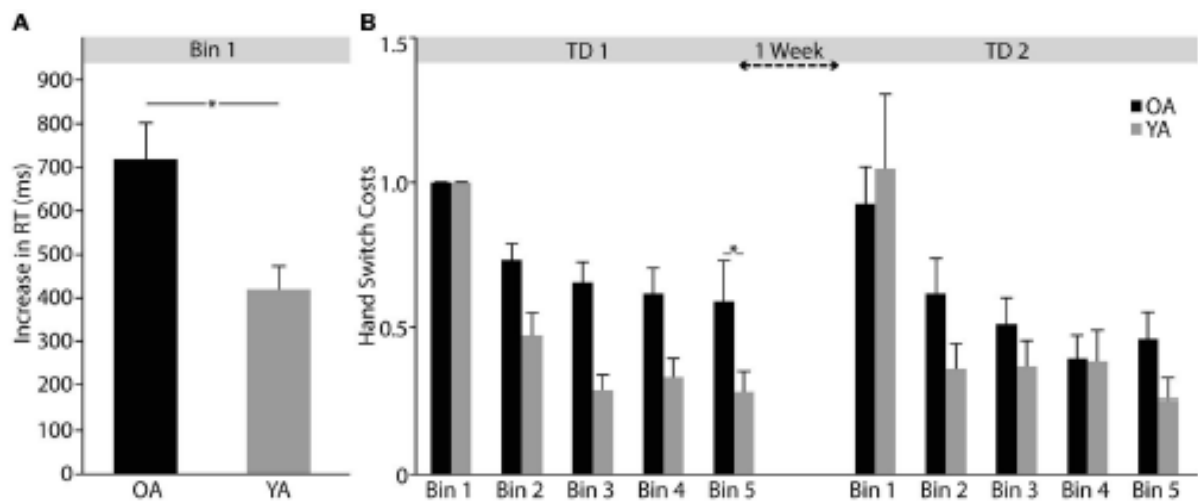


Abbildung 17: Hand switch costs (Hoff et al., 2015, S.6)

In Abbildung 17B erkannten Hoff et al. (2015) bei TD2, dass es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Reaktionszeiten des Wechsels der Hände bei jüngeren Probanden im Vergleich zu älteren Probanden gäbe.

Die Ergebnisse lieferten neue Erkenntnisse, dass bimanuelles motorisches Sequenzlernen die altersbedingten Defizite hinsichtlich der „Switch-Costs“ reduzieren kann.

Studie 2: Motor plasticity in a juggling task in older adults - a developmental study (Voelcker-Rehage & Willimczik, 2006, S.422-426)

Ziel der Studie (Voelcker-Rehage & Willimczik, 2006, S. 422-423)

Altersspezifische Beschreibung der motorischen Plastizität für das „neue Lernen“ einer komplexen motorischen Fähigkeit bei jüngeren und älteren Menschen.

Altersgruppen (Voelcker-Rehage & Willimczik, 2006, S. 423)

An der Studie nahmen insgesamt 1206 Personen teil. Die Altersgruppen wurden in fünf Jahres-Intervallen aufgeteilt. (5-80+ Jahren) Aufgrund der Ergebnisse erfolgte eine eigene Aufteilung der Altersgruppen. Es beteiligten sich 184 Personen im Alter von 5 bis 9 Jahren, 281 Personen im Alter von 10 bis 14 Jahren, 191 Personen im Alter von 15 bis 29 Jahren, 309 Personen im Alter von 30 bis 59 Jahren, 241 Personen im Alter von 60-79 Jahren und 14 Personen im Alter über 80 Jahre an der Studie.

Aufgabenstellung (Voelcker-Rehage & Willimczik, 2006, S. 424)

Die Probanden hatten die Aufgabe zwei Arten von Jonglieren (Jonglieren mit drei Schalen und Jonglieren mit drei Bällen) zu erlernen. Das Trainingsprogramm umfasste acht Sitzungen, wobei beim Pre- und Post-Test die Probanden jeweils fünf Testversuche vor und nach dem Test erhielten. Die 1. Sitzung beinhaltete Pre-Test 1 und Pre-Test 2. Im Fokus stand die Bewertung der Jonglierleistung. Den Teilnehmern wurde die Aufgabe zuerst demonstriert (fünf Kaskaden), jedoch bekamen sie keine genaue Beschreibung der in der Phase zu erlernenden Fähigkeit. Die Sitzungen von 2 bis 7 (insgesamt sechs Trainingseinheiten) enthielten ein systematisches Üben der zu erlernenden Jonglieraufgabe für die Dauer von jeweils 15 Minuten, wobei zuerst mit Schalen und nach Bewältigung von fehlerfreien fünf Kaskaden mit Bällen jongliert wurde. Die 8. Sitzung umfasste die Bewertung der Jonglieraufgabe mittels Post-Test. Hinsichtlich der Punktevergabe wurde der Mittelwert der besten drei von fünf Versuchen beim Jonglieren der Schale und Jonglieren mit dem Ball summiert. Eine Kaskade entsprach einer vollständigen Runde der drei Bälle von der einen Hand in die andere Hand und wieder zurück. Insgesamt konnten die Teilnehmer beim Absolvieren von maximal fünf Kaskaden mit den Schalen 45 Punkte und beim Erreichen von zehn Kaskaden mit den Bällen 90 Punkte erzielen.

Resultate (Voelcker-Rehage & Willimczik, 2006, S. 424-426)

Die Performance war bei allen Altersgruppen beim Post-Test signifikant höher als bei Pre-Test 1 und Pre-Test 2. Insgesamt lernten ca. 80% der Probanden das Jonglieren mit drei Schalen und erste Versuche beim Jonglieren mit drei Bällen. Wie in Abbildung 18 erkennbar ist, erbrachten Jugendliche und jüngere Erwachsene 15-29 Jahre die besten Leistungen. Ältere Erwachsene (60-79 Jahre) erbrachten eine signifikant höhere Leistung als die jüngeren Kinder (5-9 Jahre) und eine signifikant niedrigere Leistung als die jungen Erwachsenen (15-29 Jahre). Die Leistungen der älteren Erwachsenen (60-79 Jahren) waren vergleichbar mit den Leistungen von älteren Kinder (10-14 Jahre).

Erwachsene höheren Alters (60-79 Jahre) erzielten durchschnittlich große Verbesserungen ihrer Leistungen beim Jonglieren beim Vergleich von Pre-Test 1 (4,02 Punkte) und Pre-Test 2 (17,17 Punkte) mit dem Post-Test (54,66 Punkte). Allerdings waren die Leistungen der älteren Erwachsenen (60-79 Jahre) auf einem niedrigeren Niveau als die Leistungen jüngerer Erwachsener (15-29 Jahre). Wie der Abbildung 18 zu entnehmen ist, konnten jüngere Erwachsene die Aufgabe am besten meistern und erzielten somit auch die höchste Punkteanzahl. Eine Verminderung der motorischen Plastizität trat nicht im höheren Alter auf, sondern bei Probanden jüngeren und mittleren Alters nach dem Höhepunkt im Alter von 15 bis 19 Jahren.

Die Studie zeigt, dass eine Erlernung von sportmotorischen Fähigkeiten und die Verbesserung dieser Fähigkeiten auch noch im höheren Alter möglich sind. Damit sind ältere Erwachsene immer noch in der Lage auf ändernde Umstände zu reagieren und neue Situationen bewerkstelligen zu können.

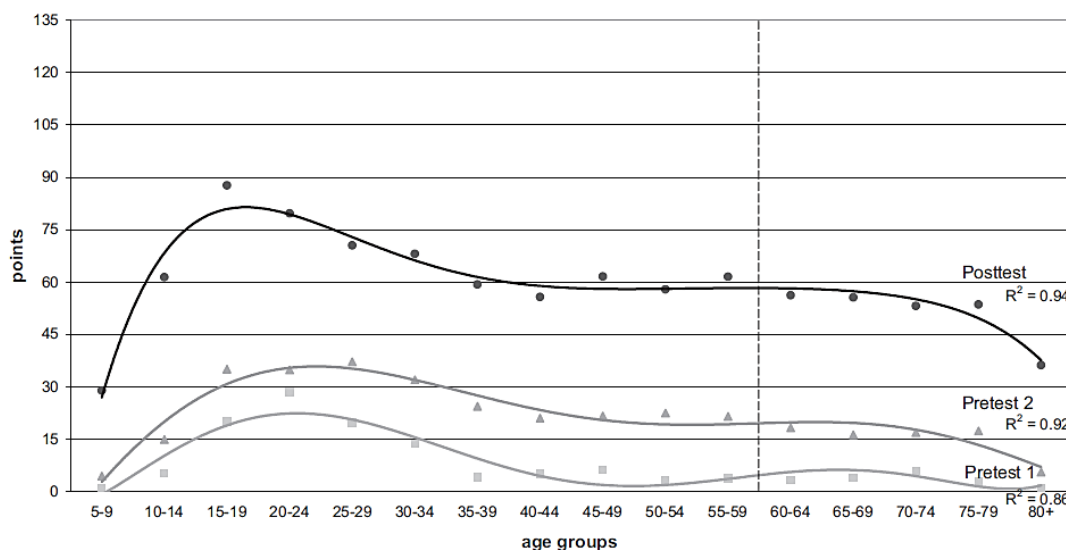


Abbildung 18: Jonglier-Performance über die Lebensspanne (Voelcker-Rehage & Willimczik, 2006, S.425)

Studie 3: Multidimensional Motor Sequence Learning is impaired in older but not younger or middle-aged adults (Boyd et al., 2008, S.351-358)

Ziel der Studie (Boyd et al., 2008, S.351-353)

Identifizierung von wichtigen Merkmalen für das motorische Sequenzlernen und ob das Alter das motorische Lernen hinsichtlich motorischer räumlicher, zeitlicher Anforderungen beeinflusst.

Altersgruppen (Boyd et al., 2008, S.353)

An der Studie nahmen 11 Personen im Alter von 23 bis 35 Jahren, 13 Personen im Alter von 38 bis 64 Jahre und 11 Personen im Alter von 71 bis 83 Jahre teil.

Aufgabenstellung (Boyd et al., 2008, S.353-354)

Die Probanden absolvierten an drei Tagen Testungen und saßen dabei vor einem Computer und einer Standardtastatur. Vier Tasten der Standardtastatur wurden mit den Farben rot, gelb, blau und grün gekennzeichnet (V, B, N, M). Die Personen wurden angewiesen, den Computer zu beobachten und beim Auftreten einer Farbe so schnell und genau wie möglich die vorher markierte Farbtaste zu drücken. Reize wurden in vorbestimmten Intervallen in einer Reihenfolge gesetzt (räumliche Abfolge), wobei in der Mitte ein Kreuz dargestellt wurde und um das Kreuz sich sechs Kreise befanden. Im Abstand zwischen 400 und 1500 Millisekunden wurden 12 Reize in Form eines Kreises in einer bestimmten Farbe absolviert. Vier Reize wurden in weniger als 500 Millisekunden, vier Reize wurden zwischen 500 und 1000 Millisekunden und vier Reize wurden bei mehr als 1000 Millisekunden gesetzt.

Tag 1 und Tag 2 waren identisch. Die Probanden durchliefen sechs Durchgänge mit je 120 Reizen pro Durchgang. Durchgang 1 beinhaltete 120 Reize, wobei als Bedingung galt, dass keine gleichen aufeinanderfolgenden Farben bzw. Positionen der Kreise wiedergegeben werden durften (zwischen 400 und 1000 Millisekunden). Bei Durchgang 2 bis 6 wurden 12 Reize gesetzt, die pro Durchgang zehnmal wiederholt wurden. Ebenso traten keine gleichen aufeinanderfolgenden Farben bzw. Positionen der Kreise auf. Am Tag 3 absolvierten die Probanden Sequenzretentionstests und zeitliche, räumliche und motorische Interferenztests. Bei den Sequenzretentionstests wiederholten die Probanden die gleichen Sequenzen, die am Tag 1 und Tag 2 geübt wurden. Bei den Interferenztests wurde jeweils eine der drei Sequenzdimensionen (motorisch=Farbe, räumlich=Position, zeitlich=Reiz) manipuliert.

Resultate (Boyd et al., 2008, S. 355-358)

Wie in Abbildung 19 ersichtlich ist, erhöhte sich die absolute durchschnittliche Antwortzeit (Reaktionszeit + Bewegungszeit) mit dem Alter der Probanden. Ältere Erwachsene profitierten weniger von den Übungsdurchgängen und waren somit auch signifikant langsamer als die jüngeren Probanden. Es konnten nur jüngere Erwachsene und Erwachsene mittleren Alters die Antwortzeit für wiederholende Sequenzen und Sequenzen mit Zufallsabfolge reduzieren. Bei älteren Erwachsenen gab es hinsichtlich durchschnittlicher Antwortzeit keinen signifikanten Unterschied bei wiederholenden Sequenzen und Sequenzen mit Zufallsabfolge.

In Abbildung 19 wurden die Durchgänge R1 und R2 als Sequenzen mit Zufallsabfolge definiert. Die Durchgänge von S1 bis S10 bezeichneten wiederholende Sequenzen. RET kennzeichnet den Retention Test am dritten Tag. Die Graphik „B“ zeigt als Nulllinie keine Änderungen bei Sequenzen mit Zufallsabfolge. Antwortzeiten unterhalb dieser Linie zeigten eine sichtliche Verbesserung der Antworten von Probanden.

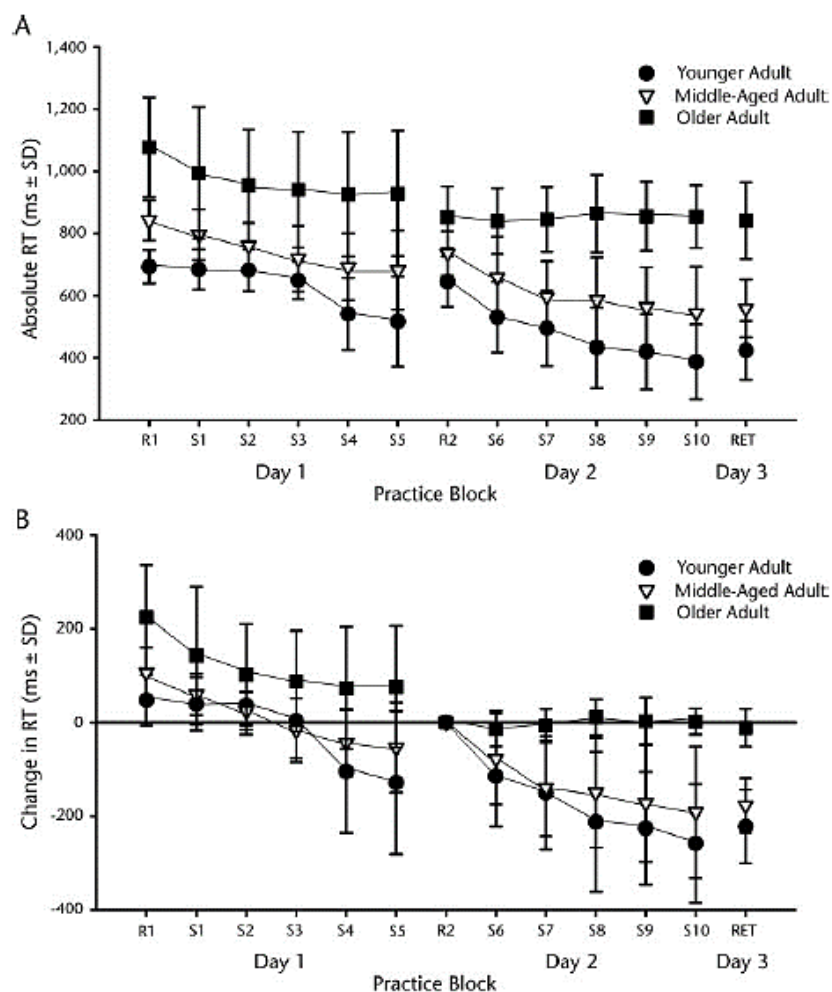


Abbildung 19: Absolute durchschnittliche Antwortzeiten (Boyd et al., 2008, S.356)

Abbildung 20 zeigt, dass jüngere Probanden mit 222 Millisekunden die höchste Verbesserung bezüglich der Reduzierung der durchschnittlichen Antwortzeiten erzielten. Probanden mittleren Alters erreichten eine Reduzierung der durchschnittlichen Antwortzeiten um 177 Millisekunden. Ältere Probanden erlangten keine signifikante Verbesserung der Antwortzeiten in Bezug auf die Absolvierung der aufeinanderfolgenden Trainingstage.

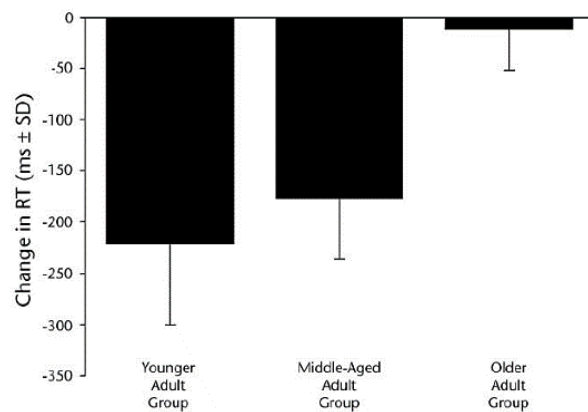


Abbildung 20: Reduzierung der durchschnittlichen Antwortzeiten für die jeweiligen Altersgruppen (Boyd et al., 2008, S. 357)

Wie in Abbildung 21 dargestellt, wurde beim Interferenztest festgestellt, dass sich gerade für jüngere Probanden und Probanden mittleren Alters die motorische Sequenzdimension als die auffälligste Dimension darstellte und somit mit einer Erhöhung der Antwortzeiten den größten Einfluss auf das motorische Sequenzlernen für diese Altersgruppe hatte. Hinsichtlich der räumlichen Dimension wurden vorwiegend Erwachsene mittleren Alters mit einer Leistungsminderung beeinflusst. Für die älteren Probanden wurde bei Manipulation einer der drei Sequenzdimensionen keine signifikante Leistungsminimierung festgestellt, was darauf deutet, dass ein Defizit beim motorischen Sequenzlernen für diese Altersgruppe vorliegt.

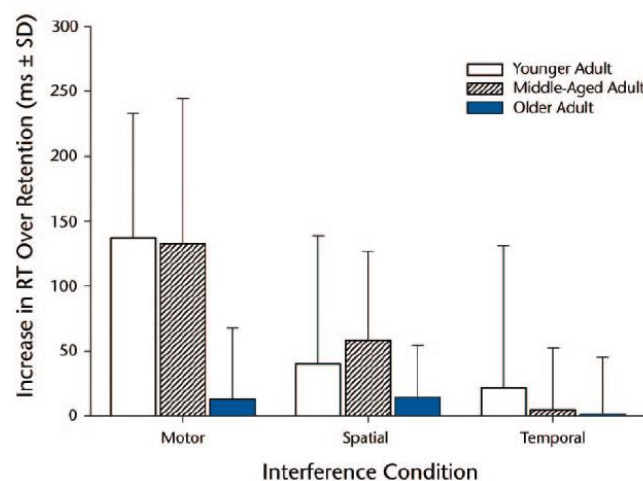


Abbildung 21: Interferenztest: Einfluss der Sequenzdimensionen auf die Antwortzeiten bei unterschiedlichen Altersgruppen (Boyd et al., 2008, S.358)

Die altersabhängigen Ergebnisse zeigen, dass ein Üben der Variabilität des motorischen Sequenzlernens zur Verbesserung der Antwortzeiten bei jüngeren Probanden und Probanden mittleren Alters führt. Dies trifft jedoch nicht für ältere Probanden zu. Ältere Erwachsene weisen Defizite beim Lernen von komplexen mehrdimensionalen Wiederholungssequenzen auf und konnten somit die Antwortzeiten nicht verbessern.

Studie 4: Adult Age Differences and the Role of Cognitive Resources in Perceptual-Motor Skill Acquisition: Application of a Multilevel Negative Exponential Model (Ghisletta et al., 2010, S.163-171)

Ziel der Studie (Ghisletta et al., 2010, S. 163)

Untersuchung altersspezifischer Unterschiede bzw. Aufklärung von möglichen Faktoren zum Erwerb von motorischen Fähigkeiten in verschiedenen Lernphasen und ob kognitive Ressourcen die altersbedingten Parameter von „Skill-Acquisition Kurven“ verändern.

Altersgruppen (Ghisletta et al., 2010, S. 164-165)

An der Studie nahmen 21 Personen im Alter von 19 bis 29 Jahren, 13 Personen im Alter von 30 bis 39 Jahren, 18 Personen im Alter von 40 bis 49 Jahren, 19 Personen im Alter von 50 bis 59 Jahren, 22 Personen im Alter von 60 bis 69 Jahren und 9 Personen im Alter von 70 bis 80 Jahren teil.

Aufgabenstellung (Ghisletta et al., 2010, S. 165)

Die Probanden hatten die Aufgabe, eine perzeptiv-motorische Aufgabe auszuführen, die auf einem standardmäßigen fotoelektrischen PR-Gerät implementiert war. Dabei sollten sie einem rotierenden Lichtfleck mit einem J-förmigen Stab in der dominanten Hand folgen. Die Zielzeit wurde automatisch vom Gerät gemessen und die Gesamtzeit am Ziel diente als Hauptleistungsindex. Absolviert wurden insgesamt 80 Versuche (4 Blöcke zu je 20 Versuche) an drei aufeinanderfolgenden Tagen, wobei 93 Probanden alle drei Tage, 6 Probanden nur Tag 1 und Tag 2 und 6 Probanden nur Tag 1 absolvierten. Die Dauer je Versuch betrug 15 Sekunden. Der erste Tag umfasste zwei Blöcke zu je 20 Versuchen. Am zweiten Tag wurde ein Block zu je 20 Versuchen absolviert. Der dritte Tag beinhaltete einen Block zu je 20 Versuchen. Um die altersspezifischen Unterschiede messen zu können, sollten „working memory“ (WM) Aufgaben bewältigt werden. Unterschieden wird zwischen verbalen WM-Aufgaben und nonverbalen WM-Aufgaben. Die verbalen Aufgaben beinhalteten eine „Listening Span“ („LS“) und eine „Computation Span“ („CS“) und die nonverbalen Aufgaben enthielten eine „Size Judgement Span“ („SJS“) und „Spatial Relations“ („SR“). Zusätzlich wurde die Wisconsin Card Sorting Task (WCST) inkludiert. Bei der „LS“ hörten sich Probanden einfache Sätze an, erhielten eine Frage zum Inhalt und wurden gebeten, sich an das letzte Wort zu erinnern (zwischen eins und sieben Sätzen). Bezüglich der „CS“ lösten Probanden einfache Rechenaufgaben und hatten die Aufgabe, sich die letzte Ziffer zu merken (zwischen eins und sieben Rechenaufgaben). Hinsichtlich der „SJS“ hörten sich die Probanden eine Liste von Objekten/Tieren an und mussten diese in aufsteigender Größenordnung sortieren (Start mit zwei Elementen).

Bei der „SR“ wurden den Probanden eine ganze Form sowie sechs nicht zusammenhängende Formen präsentiert, aus denen sie eine richtige Kombination auswählen sollten. Zu guter Letzt beobachteten Probanden bei der „WCST“ Stimuluskarten auf einem Computerbildschirm, die sie mit einem zusätzlichen Stapel an Karten einzeln abgleichen sollten. Die Korrektheit der Übereinstimmung bzw. die Anzahl der Fehler dienten als Leistungsindex.

Um die longitudinalen Lernverläufe der Teilnehmer zu messen, wurde die negative Lernfunktion mit MLM (multilevel model) getestet. Dabei konnte die Anfangsleistung (α), Erwerbsrate (γ) und Endleistung (β) gemessen werden. Es entstand eine Korrelationsmatrix mit den Lernkomponenten aller vier Blöcke. Damit offensichtliche Abnahmeraten (δ) modelliert werden konnten, musste die Funktion auf ein duales negatives Exponentialmodell für den zweiten Block erweitert werden. Es wurden fixe und zufällige Effekte geschätzt. Bei den fixen Effekten war die negative Exponentialfunktion nichtlinear (Mittelwerte aufgrund Stichprobenmerkmale) und bei den zufälligen Effekten linear (Abweichung von den Stichproben). Das Modell schätzte auch den Grad der linearen Beziehungen zwischen den Lernkomponenten, die durch Kovarianzen dargestellt wurden.

Resultate (Ghisletta et al., 2010, S. 166-171)

Im Durchschnitt war die vorhergesagte Anfangsleistung (α) in Block 1 mit einer durchschnittlichen Zielzeit von nur 2,86 Sekunden eher schwach ausgeprägt. Die Leistung verbesserte sich aber exponentiell bis zum Ende des ersten Blockes (beim 20. Versuch) und erreichte eine durchschnittliche Zielzeit von 5,76 Sekunden. Der vorhergesagte durchschnittliche Startwert des zweiten Blockes war mit 4,43 Sekunden niedriger, jedoch betrug der Endwert 6,46 Sekunden und war damit höher als beim ersten Block. Beim dritten Block, durchgeführt am zweiten Tag, ergab sich im Vergleich zu Block 1 und Block 2 eine höhere durchschnittliche Anfangsleistung von 7,45 Sekunden und eine höhere durchschnittliche Endleistung von 7,95 Sekunden. Am dritten Tag wurden ein durchschnittlicher Anfangswert von 8,28 Sekunden und ein durchschnittlicher Endwert von 8,36 Sekunden erzielt. Damit stand fest, dass an den Tagen zwei und drei die Probanden eine bessere Leistung erbrachten als an den Vortagen.

Die individuellen Unterschiede um die fixen Effekte waren nicht unbedeutend und spiegeln die allgemeine Heterogenität der wahrnehmungsmotorischen Fähigkeiten und des Lernens der Stichprobe wider. Hinsichtlich zufälliger Effekte unterschied sich bei allen Blöcken, außer dem Block 2, die anfängliche Leistung zwischen den einzelnen Personen deutlich.

Abbildung 22 zeigt einzelne Lernkurven von 20 Teilstichproben sowie empirische (dicke gezackte Linie) und vorhergesagte (markierte glatte Linie) durchschnittliche Lernkurven. Vom ersten Satz bis zum dritten Block verzeichnete die Kurve den höchsten Anstieg. Ersichtlich ist auch der Rückgang nach dem fünften Versuch des zweiten Blockes, der auf eine Müdigkeit der Probanden zurückzuführen ist, da Block 2 am Ende des ersten Tages durchgeführt wurde.

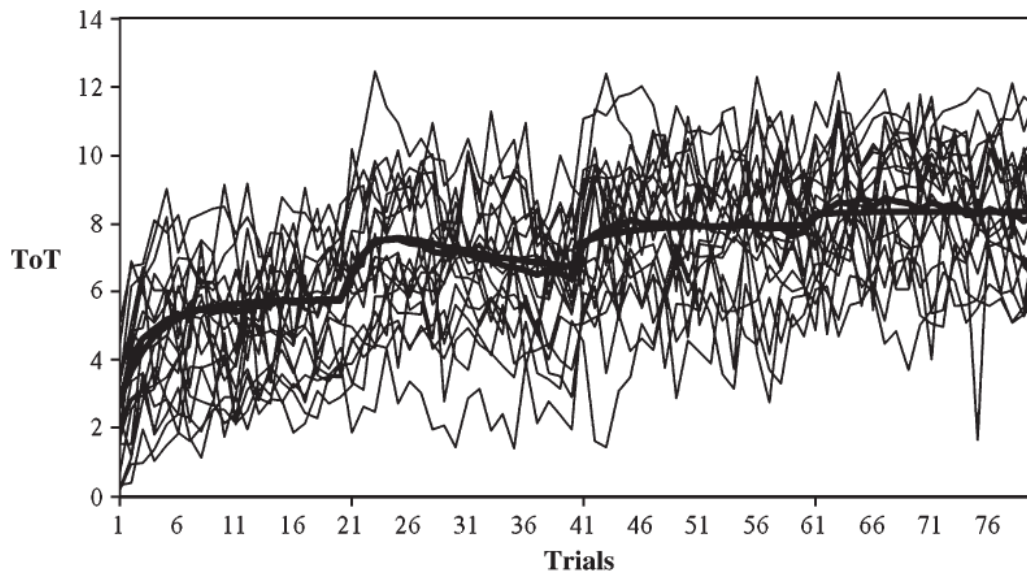


Abbildung 22: Lernkurve über 80 absolvierte Versuche gemessen als „time on target“ (ToT)
(Ghisletta et al., 2010, S.167)

Die Ergebnisse lieferten Erkenntnisse, dass weder verbale WM-Aufgaben noch die Wisconsin Card Sorting Task die Lernleistung vorhersagt. SJS prognostizierte lediglich die Endleistung im vierten Block. Im Gegensatz führte eine höhere Leistung bei der SR-Aufgabe zu einer besseren anfänglichen Leistung in den Blöcken 1 und 3 und zu einer längeren Endzeit für das Ziel in den Blöcken 1 und 2. Fortgeschrittenes Alter hatte einen negativen Einfluss auf die Anfangs- und Endleistung im dritten und vierten Satz. Das höhere Alter sagte ein besseres Lernen in Block 1 voraus.

In Bezug auf das Alter und die kognitiven Ressourcen der Probanden wurde festgestellt, dass in allen Altersgruppen zu Beginn jedes Blockes große Fortschritte hinsichtlich der PR-Leistung erzielt wurden. Im Durchschnitt fand der größte Lernfortschritt am ersten Tag während der Versuche 1 bis 25 und der geringste Lernfortschritt während der Versuche 61-80 statt. Die größten Lernerfolge konnten zu Beginn an Tag 2 und 3 erzielt werden.

Alterungseffekte in Form von Minderung der Leistungszunahmen traten erst am Ende des zweiten Blockes auf und blieben danach bestehen. Altersbedingte Unterschiede der motorischen Fertigkeiten wurden nicht durch Übung vermindert. Auf Anfängerebene hatten ältere Menschen eine höhere Lernrate.

Studie 5: Age-Related Effects in Sequential Motor Learning (Shea et al., 2006, S.478-487)

Ziel der Studie (Shea et al., 2006, S.478)

Untersuchung von altersbedingten Defiziten in der Leistung und im motorischen Lernen von Bewegungssequenzen.

Altersgruppen (Shea et al., 2006, S.480)

An der Studie nahmen 8 Personen im Alter von 19 bis 23 Jahren und 8 Personen im Alter von 65-68 Jahren teil.

Aufgabenstellung (Shea et al., 2006, S.481)

Probanden saßen auf einem Stuhl vor einem Tisch an dem ein Apparat montiert war. Der Unterarm befand sich in einem 60 Grad Winkel zum Oberarm. Nach Erreichen der Startposition des Hebels (0°) wurden vier Kreise (Ziele) auf die Tischplatte projiziert. Sie befanden sich bei 20°, 40°, 60° und 80° von der Ausgangsposition. Für die Ziele wurden die Zahlen von eins bis vier vergeben. Der Durchmesser der Ziele repräsentierte zwei Grad des Ellbogens in der Streckung oder Beugung. Die Probanden hatten die Aufgabe den Hebel so schnell wie möglich zum Ziel zu befördern. Bei Erreichen eines Ziels erschien sofort ein neues Ziel. Insgesamt sollten 160 Ziele (10 Wiederholungen der 16-Element-Sequenz) absolviert werden. Wiederholende Sequenzen (2, 3, 4, 3, 2, 3, 2, 1, 2, 3, 2, 3, 4, 3, 2 und 1) erfolgten in den Blöcken 2 bis 4, 6-8, 10-12 und 14-16. Zufällige Sequenzen fanden in den Blöcken 1,5,9 und 13 statt. Zwischen den Blöcken war ein Ruheintervall von 30 Sekunden vorgesehen. Nach der Akquisition-Session am ersten Tag wurden am zweiten Tag die wiederholten und zufälligen Sequenztests wiederholt. Nach Abschluss der Testungen erfolgten nach einer kurzen Pause ein Interview, bei dem die Sequenzen von den Teilnehmern beschrieben werden sollten, und zwei Nachtests. Für den ersten Nachtest verwendeten die Teilnehmer die Computertasten „1“, „2“, „3“ und „4“. Die Teilnehmer wurden gebeten fünf Sequenzen zu beobachten. Das Programm startete mit einem zufälligen Element in der Sequenz und stoppte nach Abschluss von drei Wiederholungen der gesamten Sequenz. Die Probanden sollten nun mit der Nummer des nächsten Ziels in der Sequenz antworten, um die Sequenz fortsetzen zu können. Fünfmal wurde an zufälligen Elementen gestoppt, damit war der Test beendet. Dieser Test wurde ein zweites Mal wiederholt und ein anderes Element als Startpunkt ausgewählt. Beim zweiten Nachtest benutzten die Probanden die Computertasten „Y“ für „Ja“ und „N“ für „Nein“. Fünf verschiedene Sequenzen bestehend aus fünf Wiederholungen wurden gezeigt. Die Teilnehmer sollten mit „Ja“ antworten, wenn die Reihenfolge, die sie gesehen haben, mit der Akquisitionssession übereinstimmte. Andernfalls war mit „Nein“ zu antworten.

Resultate (Shea et al., 2006, S.482-487)

Die Leistungen bei den zufälligen Sequenzen bestätigten, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Probanden hinsichtlich der Bewegungsgeschwindigkeit und der Sequenzverarbeitung gab. Bei den Zufallssequenzen von Block 1 zu Block 5 durfte eine Verbesserung hinsichtlich der Dauer beobachtet werden. Keine weitere Verbesserung erfolgte jedoch bei den Blöcken 9 und 13. Die zufälligen Sequenzen der Blöcke 1,5,9 und 13 wurden von allen Probanden langsamer durchgeführt als die wiederholenden Sequenzen. Bezüglich den wiederholten Sequenzen absolvierten die älteren Probanden die Sequenzen langsamer als die jüngeren Probanden. Wie in Abbildung 23 ersichtlich, antworteten jüngere Teilnehmer bei den wiederholten Sequenzen speziell bei den Elementen 3, 6, 11 und 16 langsamer als bei den anderen Elementen. Für die Elemente 3,6,11 und 16 gab es nur einen geringen Unterschied zwischen den jungen und älteren Teilnehmern. Dennoch erzielten die jüngeren Teilnehmer von Block 2 bis Block 6 eine signifikante Verbesserung der durchschnittlichen Elementendauer (v.a. bei den Elementen 2, 5, 8, 10 und 13). Für die älteren Teilnehmer gab es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Antwortgeschwindigkeit bei den Elementen.

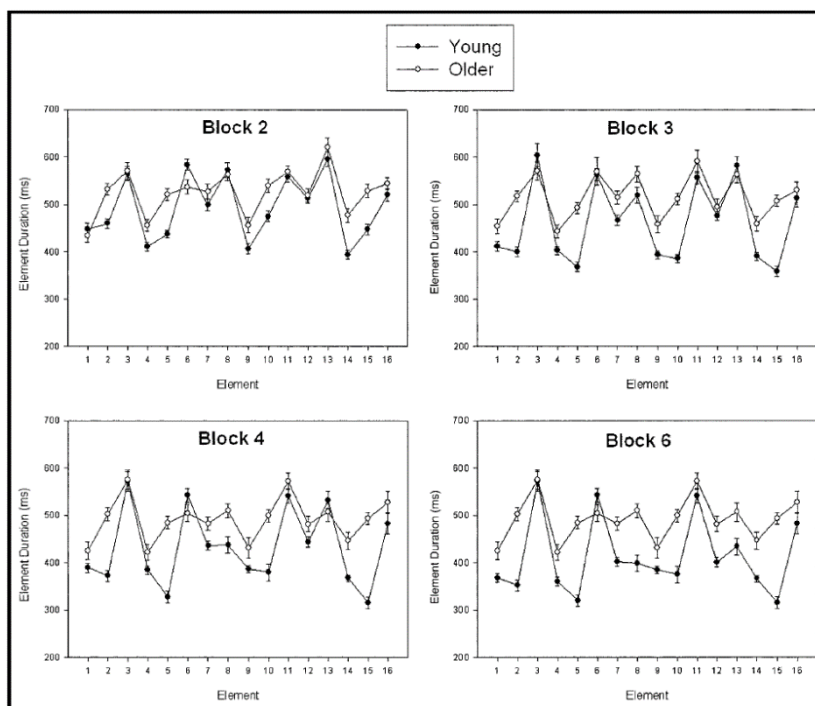


Abbildung 23: Altersspezifischer Vergleich der Elementendauer bei wiederholenden Sequenzen (Shea et al., 2006, S.484)

Während des Interviewprozesses gaben alle Teilnehmer an, dass sie sich der wiederholten Sequenzen bewusst waren. Laut Ergebnissen gibt es kleine Unterschiede in unspezifischen Leistungs- und Lernmerkmalen zwischen jungen und älteren Erwachsenen bei niedrigen Planungs- und Reaktionsorganisationsanforderungen.

Abbildung 24 zeigt, dass am Ende der Akquisition, also am Ende des ersten Tages, signifikante Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Probanden betrachtet werden konnten. Jüngere Probanden erzielten eine deutliche Verbesserung beim sequenzspezifischen Lernen und erreichten beim letzten Element eine durchschnittliche Dauer von 302ms, SE=9.4. Ältere Teilnehmer erkämpften auch eine Verbesserung, jedoch erreichten sie lediglich eine Dauer von 440ms, SE=8.8 am Ende des ersten Tages. Beim zweiten Tag war bei Jüngeren und Älteren kein signifikanter Unterschied bei den zufälligen Sequenzen zu beobachten. Jedoch erzielten beide Altersgruppen wie auch schon in der Akquisition für die zufälligen Sequenzen (1,3,9,13) eine deutlich längere Elementendauer als für die wiederholenden Sequenzen. Jüngere Teilnehmer führten wiederholende Sequenzen deutlich schneller durch als die älteren Teilnehmer.

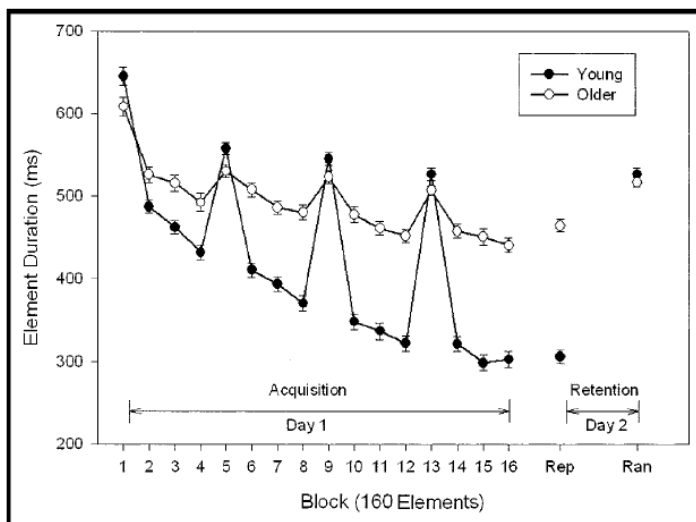


Abbildung 24: Durchschnittliche Elementendauer des ersten (Akquisition) und zweiten Tages (Wiederholungssequenzen und Zufällige Sequenzen) (Shea et al., 2006, S.483)

Eine mögliche Erklärung bezüglich der altersbedingten Unterschiede für wiederholende Sequenzen könnten Unterschiede der Altersgruppen bezüglich implizitem und explizitem Lernen sein. Die Studienteilnehmer gaben an, dass sie langsamer zu arbeiten schienen, wenn sie darüber nachdachten. Teilnehmer verließen sich auch auf ihr implizites Wissen, also auf unbewusstes Lernen. Jedoch generierten sie auch explizites Wissen aufgrund der sequentiellen Produktion der Bewegungsmuster.

Eine weitere Erklärung der altersbedingten Unterschiede könnte sein, dass sowohl jüngere als auch ältere Probanden gleich effektiv im Erwerb von Sequenzwissen, jedoch ältere Teilnehmer weniger effektiv im Gebrauch der Informationen waren.

Altersbedingte Defizite sind zurückzuführen auf eine reduzierte Speicherkapazität und eine verlangsamte kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Studie 6: Memories that last in old age: motor skill learning and memory preservation (Smith et al., 2005, S.883-890)

Ziel der Studie (Smith et al., 2005, S.884)

Untersuchung, ob sich das motorische Lernen bei einer neuartigen visuomotorischen Aufgabe mit zunehmenden Alter verlangsamt.

Altersgruppen (Smith et al., 2005, S.884-885)

An der Studie nahmen 141 Personen im Alter von 18 bis 61 Jahren und 356 Personen im Alter von 62-95 Jahren teil. Weiters erfolgte eine zweite Testung mit einer Untergruppe mit 30 Personen im Alter von 24 bis 45 Jahren und 121 im Alter von 65 bis 95 Jahren statt.

Aufgabenstellung (Smith et al., 2005, S.884-886)

Probanden absolvierten hMAP-Tests. Das hMAP bestand aus einer vertikalen Plexiglasplatte mit einer linken und rechten Kammer, wobei der Proband in diese Kammern Zugang hatte, um schließlich ins Innere und zur Plexiglasplatte zu gelangen. Dabei erfolgten vier motorische Aufgaben innerhalb von 30 Minuten.

Aufgabe war es eine sechseckige 14mm Stahlmutter aus verschiedenen Formen zu entfernen. Erste Form war eine Plattform, danach folgten eine Stange und ein Fragezeichen. Bei der vierten und letzten Aufgabe sollte eine Stahlmutter über eine gebogene Doppel-S-förmige Stange manövriert werden. Die Testung wurde jeweils fünfmal für die linke und fünfmal für die rechte Hand und aufgrund der Formen bei unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden durchgeführt werden.

Die vierte motorische Aufgabe wurde zur genaueren Analyse des motorischen Lernens und für die Bestimmung der Gedächtnisleistung herangezogen. Eine longitudinale Untergruppe führte die Testung ein zweites Mal nach mindestens 12 Monaten durch.

Resultate (Smith et al., 2005, S.885-888)

Wie in Abbildung 25 zu betrachten ist, wiesen ältere Probanden signifikant langsamere Performancezeiten in der Absolvierung der vierten feinmotorischen Aufgabe auf als jüngere Probanden. Aufgrund eines Regressionsmodells wurde eine Verlangsamungsrate für Personen unter 62 Jahren von 12 ms/Jahr und für Personen über 62 Jahren von 60 ms/Jahr geschätzt.

	Cross-sectional study			
	Age 18 to <62		Age 62–95	
	Male (n = 56)	Female (n = 85)	Male (n = 129)	Female (n = 227)
Dominant hand time	1.8 ± 0.41 s	1.89 ± 0.50 s	3.20 ± 1.14 s	3.20 ± 1.15 s
Non-dominant hand time	1.90 ± 0.45 s	1.92 ± 0.50 s	3.13 ± 1.08 s	3.12 ± 1.03 s

Abbildung 25: Durchschnittliche Performancezeit bei der vierten Aufgabe (Smith et al., 2005, S.885)

Abbildung 26 veranschaulicht die altersbedingte Entwicklung der Performancezeiten für die vierte Aufgabe. Bis zu einem Alter von 30 Jahren lässt sich eine Verbesserung der Leistung erkennen. Danach zeichnete sich eine deutliche Verlangsamung hinsichtlich der Lösung der Aufgabe mit zunehmenden Alter ab. Ab 47-62 erhöhte sich die Rate kontinuierlich. Für die Altersgruppe von 65-90 Jahren lag die jährliche Verlangsamungsrate dann tatsächlich bei den 60 ms/Jahr.

Bei den anderen Formen (Plattform: 52 Jahren, 10 ms/Jahr; Stange: 47 Jahren, 16 ms/Jahr; Fragezeichen: 52 Jahren, 54 ms/Jahr) setzte die erhöhte Verlangsamungsrate deutlich früher ein.

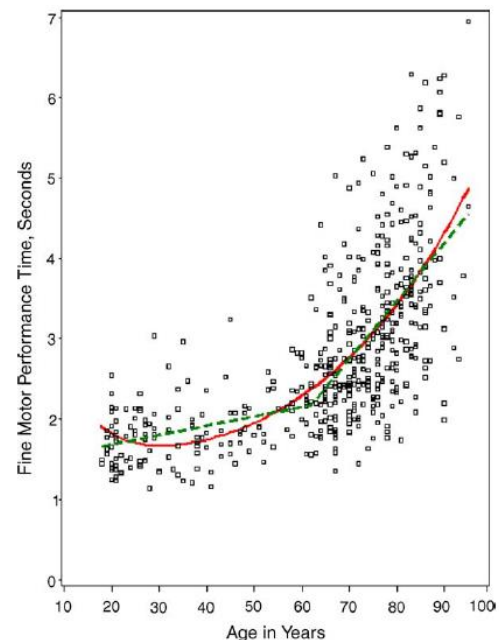


Abbildung 26: Altersspezifische Feinmotorikleistung bei der Doppel-S-förmigen Stange (Smith et al., 2005, S.886)

Um motorisches Lernen bzw. das motorische Gedächtnis zu testen, wurde nach durchschnittlich zwei Jahren eine zweite Testung durchgeführt. Es zeigte sich, dass bei älteren Erwachsenen die Performancezeit für die vierte Aufgabe von durchschnittlich $3,38 \pm 1,01$ s auf $2,95 \pm 1,13$ s fiel, also um 430ms kürzer war als zwei Jahre davor. Damit konnten die älteren Erwachsenen bei Vergleich der ersten zur zweiten Testung eine Verringerung der Zeit um 13% erzielen. Die jüngeren Erwachsenen erreichten im Vergleich zu den älteren Erwachsenen lediglich eine Verbesserung von 10% von der ersten zur zweiten Testung.

Die Verbesserung der Performancezeit bei den älteren Erwachsenen könnte durch die erhöhte Lernrate bei Wiederholungsmessungen erklärt werden. Bei den jüngeren Erwachsenen geht man von einem raschen Erwerb der Aufgabe aus, sodass keine signifikanten Verbesserungen zwischen der ersten und zweiten Messung festgestellt werden konnten. Die zweite Messung zeigte ähnliche Verbesserungen wie die erste Messung bei den jüngeren Erwachsenen.

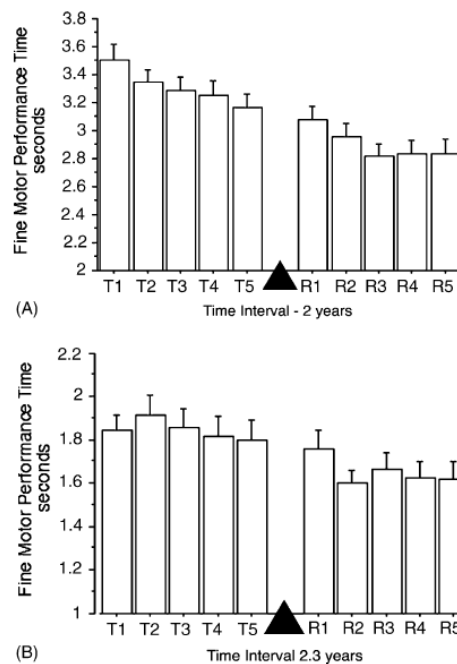


Abbildung 27: Altersspezifische Performanceleistung bei der ersten und zweiten Messung (A=ältere Probanden; B=jüngere Probanden) (Smith et al., 2005, S.888)

Das Ergebnis der Studie zeigte, dass die Erinnerung an eine neu erworbene motorische Fähigkeit für eine Altersgruppe von gesunden 18 bis 95-jährigen Erwachsenen für mindestens zwei Jahre erhalten bleibt. Die Speicherspura eines gelernten Musters verfällt nicht über Sekunden bis Stunden (Kurzzeitgedächtnis) oder Stunden bis Monate (Langzeitgedächtnis).

Die Annahmen des motorischen Lernens wurden jedoch bestätigt. Das motorische Lernen verlangsamte sich mit zunehmenden Alter. Die jüngeren Probanden lernten die vierte Aufgabe so schnell, dass Verbesserungen innerhalb der ersten bzw. zweiten Testung nur noch gering möglich waren. Bei den älteren Probanden zeigte sich hingegen eine ausgeprägte Lernkurve.

Viele Faktoren, wie Arthritis, Sarkopenie und Veränderungen des Zentralnervensystems (Atrophie der Basalganglien und die Abnahme Dopamin energetischer Aktivität) tragen zu einer Verlangsamung der Handbewegungen im Alter bei.

7. Ergebnisse

7.1. Altersspezifische Veränderung der Bewegungskoordination

Insgesamt wurden neun Studien bezüglich der altersspezifischen Veränderung der Bewegungskoordination in die Masterarbeit aufgenommen und untersucht. Die Arbeit umfasst Studienmaterial bezüglich der Themen „Feinmotorik“, „Auge-Hand-Koordination“, „bimanuelle Koordination von Arm- und Handbewegungen“ und „Gleichgewicht“. Die Resultate werden nun im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

7.1.1. Altersspezifische Veränderung der „Feinmotorik“

„Essentielle Tätigkeiten des Alltags wie Anziehen, Essen und Trinken oder Körperhygiene, verlangen feinmotorische Fertigkeiten. Die Finger müssen exakt an den Oberflächen der zu manipulierenden Objekte platziert werden und sich oft unabhängig voneinander, zielgerichtet bewegen. Die durch die Finger ausgeübten Kräfte müssen den Anforderungen der Tätigkeit entsprechen. Bei zu niedrigen Kräften wird womöglich der Widerstand nicht überwunden oder ein gehaltenes Objekt rutscht aus der Hand. Zu hohe Kräfte führen dagegen zu einer raschen Ermüdung, verschlechtern die sensorische Wahrnehmung oder können fragile Objekte zerstören“ (Granacher et al., 2018, S. 402). In der vorliegenden Arbeit befassten sich vier Studien mit der „Feinmotorik“.

Bei Liutsko et al. (2014) ergab sich ein signifikanter Unterschied der Altersgruppen hinsichtlich der Präzision feinmotorischer Aufgaben. Die feinmotorische Leistung war im jungen Alter von 12 Jahren am geringsten. Erst danach verbesserte sich die Leistung, bis sie im mittleren Alter einen Punkt erreicht, an dem die Bewegung mit der höchsten Präzision ausgeführt wurde. In der transversalen Bewegungsebene erfolgte dies bei propriozeptiven Bedingungen im Alter von 35/31 Jahre für nicht dominante/dominante Hand und bei visuellen-propriozeptiven Bedingungen bei 45/48 Jahren für nicht dominante/dominante Hand. Bei Frontalbewegungen wurde der Wendepunkt bei propriozeptiven Bedingungen bei 23 Jahren und visuellen-propriozeptiven Bedingungen bei 26 Jahren festgestellt. Anschließend erfolgte bis ins hohe Alter ein kontinuierlicher Abbau der Genauigkeit der Feinmotorik.

Leveresen et al. (2012) untersuchten die Feinmotorik hinsichtlich zweier motorischer Aufgaben. Dabei verzeichneten die Kinder im Alter von 7-9 Jahren mit durchschnittlich $34,57 \pm 6,62s$ bei der „PB-Aufgabe“ und $20,02 \pm 4,50s$ bei der „BB-Aufgabe“ die langsamste Zeit bei der Bewältigung der Aufgabe. Die beste Zeit erreichten die Erwachsenen im Alter von 19-25 Jahren mit durchschnittlich $18,40 \pm 2,00s$ bei der „PB-Aufgabe“ und $10,50 \pm 1,61s$ bei der „BB-Aufgabe“. Ab 26 Jahren stieg die benötigte Zeit zur Lösung der Aufgabe kontinuierlich an.

Dayanidhi & Valero-Cuevas (2014) erkannten einen signifikanten Unterschied der Fingerspitzenkraft im Alter. Jüngere Probanden erzielten $213,79 \pm 6,8\text{gmf}$, Probanden mittleren Alters $185,73 \pm 6,6\text{gmf}$ und ältere Probanden $156,15 \pm 6,8\text{gmf}$. Daraus lässt sich schließen, dass ein Rückgang dynamischer Fingerspitzenkraft bereits im mittleren Alter einsetzt. Ab dem früheren Erwachsenenalter kommt es zu degenerativen Veränderungen im Gehirnvolumen, in den kortikalen Bereichen des sensomotorischen Systems und in dem diffusen kortikalen Netzwerk, die mit dem präzisen Griffverhalten verbunden sind. Darüber hinaus wurde eine Verlangsamung der zentralen und peripheren (motorischen und sensorischen) Leitungsgeschwindigkeiten bei Menschen über 60 Jahren festgestellt.

Shim et al. (2004) untersuchten die altersbedingten Veränderungen der Fingerkoordination. Ein Verlust der Anzahl an motorischen Einheiten im Muskel und die Prozesse der Reinnervationen führen zu größeren und langsameren motorischen Einheiten. Der Muskel verliert an Querschnittsfläche und Anzahl an Muskelfasern. Es liegt ein signifikanter Unterschied der Finger- und Handkraftproduktion bei den Probanden vor. Jüngere Probanden erreichten einen Durchschnittswert von $80,3\text{N}$. Ältere Probanden erzielten einen Wert von $66,5\text{N}$. Während ältere Personen die Kraftaufbringung vorrangig über den Zeige- und Mittelfinger aufbrachten, produzierten die jüngeren Probanden die Kraft mittels Ringfinger und kleinen Finger.

7.1.2. Altersspezifische Veränderung der „Auge-Hand-Koordination“

Die Rolle des visuellen Sinnes stellt eine wichtige Komponente in der kontrollierten Bewegung des Armes bzw. der Hände dar. Speziell im höheren Alter, wenn dieser Sinn altersbedingt beeinträchtigt wird, kommt es zu zunehmenden Schwierigkeiten in der Auge-Hand-Koordination. Im folgenden Abschnitt erläutern zwei ausgewählte Studien die altersbedingte „Auge-Hand-Koordination“.

Leversen et al. (2012) untersuchten die Veränderung der „Auge-Hand-Koordination“ anhand einer motorischer Aufgabe. Dabei stellte sich heraus, dass die schwächsten Resultate die Altersgruppe von 7 bis 9 Jahren erbrachten. Für die Bewältigung der Aufgabe benötigten sie im Durchschnitt $63,73 \pm 36,01\text{s}$. Die Altersgruppe 19-25 Jahren absolvierte die Aufgabe in $23,33 \pm 15,84\text{s}$, womit auf eine deutliche Verbesserung der „Auge-Hand-Koordination“ vom Kindesalter zum jungen Erwachsenenalter zurückzuschließen ist. Die besten Werte erzielte jedoch die Altersgruppe von 26-35 Jahren mit $22,03 \pm 12,65\text{s}$. Danach stieg die durchschnittliche Dauer bis ins hohe Alter kontinuierlich an und erreichte im Alter von 66-80 Jahren einen Wert von $28,12 \pm 22,21\text{s}$. Die Ergebnisse zeigten, dass selbst die Probanden im höheren Alter noch durchschnittlich gute Werte im Vergleich mit den jüngeren Erwachsenen erreichten und

im Vergleich zu den Kindern lediglich die Hälfte der durchschnittlichen Zeit für die Lösung der Aufgabe benötigten.

In der Studie von Guan & Wade (2000) zeigten die Ergebnisse, dass das Ausmaß der Anpassung der Auge-Hand-Koordination bei jüngeren Erwachsenen signifikant besser als bei Erwachsenen höheren Alters war und daher mit zunehmenden Alter die Propriozeption durch Alterung stärker beeinträchtigt wird als die visuelle Modalität. Die Anpassungsfähigkeit von Zeigebewegungen bei einer Prismenbrille nahm dadurch im höheren Alter ab. Dieser Rückgang ist somit auf eine Veränderung der strategischen Kontrolle und einer Abnahme räumlicher Ausrichtung zurückzuführen.

7.1.3. Altersspezifische Veränderung der „bimanuellen Koordination von Arm- und Handbewegungen“

Da im Alltag Aufgaben häufig beidhändig bewältigt werden, sei es im privaten Bereich oder in der Arbeit, so ist die altersspezifische Testung der „bimanuellen Koordination von Arm- und Handbewegung“ ein ganz wichtiger Aspekt in der vorliegenden Masterarbeit. „Die Fähigkeit beide Hälften des Körpers in einer Tätigkeit räumlich und zeitlich zu koordinieren, stellt hohe Anforderungen an die Handlungskontrolle“ (Granacher et al., 2018, S.401). Insgesamt wurden drei verschiedene Studien in die Masterarbeit aufgenommen, die sich mit dieser Thematik befassen.

Boisgontier et al. (2018) untersuchten die bimanuelle Koordinationsleistung und Gehirnregionen, die an der bimanuellen Koordination beteiligt sind. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die bimanuelle Koordinationsleistung bereits ab einem Alter von 20 Jahren nicht mehr verbessert und ab einem Alter von 40 Jahren kontinuierlich abnimmt. Der frühe Rückgang könnte aufgrund der Komplexität einer bimanuellen im Vergleich zu einer unimanuellen Aufgabe erklärt werden. Die Struktur der grauen Substanz des Kleinhirn-ROI ist ein starker Prädiktor für die bimanuelle Koordinationsleistung älterer Personen und Kinder. Eine höhere Intensität der grauen Substanz im M1 steht mit einer höheren bimanuellen Koordinationsleistung im Zusammenhang. Jedoch kommt es im Alter zur Abnahme des M1. Eine höhere Intensität der grauen Substanz im S1 und im prämotorischen Kortex war mit einer geringeren bimanuellen Koordinationsleistung verbunden.

In der Studie von Goble et al. (2010) konnte bei beiden Altersgruppen in der In-Phase (spiegelsymmetrische Bewegungen) und Anti-Phase (parallele Bewegung) bei Erhöhung der Frequenz eine signifikante Verringerung der Koordinationsgenauigkeit und –stabilität nachgewiesen werden. Ältere Erwachsenen zeigten eine ausgedehntere Aktivierung in mehreren motorischen, sensorischen und kognitiven Regionen (SMA und SII links) des Gehirns, um vergleichbare Leistungen zu erreichen.

Bei Wishart et al. (2000) führten jüngere Erwachsene koordinative Aufgaben (v.a. in der „Anti-Phase“) bei erhöhter Frequenz ($\geq 1,5\text{Hz}$) genauer und stabiler durch als die Erwachsenen mittleren Alters und höheren Alters. Die Erwachsenen höheren Alters neigten dazu bei höheren Frequenzen langsamer zu werden.

In der Studie von Fujiyama et al. (2016) konnte bei Vergleich jüngerer und älterer Teilnehmer ein signifikanter Unterschied bei der 3:1- und 1:3-Bedingung nachgewiesen werden. Jüngere Probanden erreichten somit bei unterschiedlichen Frequenzverhältnissen bessere Ergebnisse als die älteren Probanden. Hinsichtlich der 1:1-Bedingung belegten die älteren Erwachsenen vergleichbare Leistungen wie die jüngeren Erwachsenen. Weiters erzielten die jüngeren Erwachsenen einen signifikant höheren ($0,39 \pm 0,02$) FA-Wert als die älteren Erwachsenen ($0,36 \pm 0,02$), was bedeutet, dass jüngere Erwachsene eine geringere Fehleranfälligkeit bei der Lösung der Aufgabe aufwiesen. Bei Vergleich der interhemisphärischen Wechselwirkungen (DLPFC-M1, PMd-M1 und M1-M1) zeigte sich, dass der PMd-M1-Bereich im gesunden Alter weitgehend erhalten blieb, während die DLPFC-M1 und M1-M1-Bereiche mit dem Alter deutlich zurückgegangen sind. Im höheren Alter war eine Verringerung der optimalen Mikrostruktur der weißen Substanz des Gehirns und eine verminderte Fähigkeit, die Interaktion zwischen dem dorsolateralen und präfrontalen Cortex und M1 zu regulieren, ersichtlich.

7.1.4. Altersspezifische Veränderung des „Gleichgewichts“

Leveresen et al. (2012) untersuchten die Veränderung des „Gleichgewichts“ anhand zweier motorischer Aufgaben. Dabei erzielten Kinder im Alter von 7-9 Jahren mit durchschnittlicher Bewältigungsdauer für die „HTW-Aufgabe“ von $21,88 \pm 7,13\text{s}$ die schwächsten Ergebnisse. Im Alter von 19-25 Jahren wurde die Durchschnittsdauer mehr als halbiert und erreichte $8,53 \pm 1,85\text{s}$, was eine deutliche Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit darstellte. Im Alter von 26-35 betrug die durchschnittliche Dauer $8,25 \pm 1,89\text{s}$. Die besten Werte erzielten die Probanden im Alter von 36-45 Jahren mit durchschnittlich $8,08 \pm 1,28\text{s}$. Danach stieg die Durchschnittsdauer an und erreichte im Alter von 66-80 Jahren $14,37 \pm 5,74\text{s}$. Bei der zweiten Gleichgewichtsaufgabe „W/R“ lieferten ebenso die Altersgruppen 19-25 Jahre ($4,60 \pm 0,41\text{s}$), 26-35 Jahre ($5,07 \pm 0,68\text{s}$) und 36-45 Jahre ($6,02 \pm 1,05$) die besten Ergebnisse. Die schwächsten Ergebnisse erzielten diesmal nicht die Kinder im Alter von 7-9 Jahren ($6,12 \pm 1,06$), sondern die Erwachsenen im Alter von 66-80 Jahren mit $9,66 \pm 3,46\text{s}$. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Gleichgewichtsfähigkeit im Alter von 19-65 Jahren am besten präsentierte und im Kindesalter und höheren Alter die schwächsten Durchschnittswerte erzielt wurden.

7.2. Altersspezifische Veränderung des motorischen Lernens

Gesamt wurden sechs Studien zur altersspezifischen Veränderung des motorischen Lernens in die Masterarbeit aufgenommen und analysiert. Bei diesen Studien sollten Unterschiede in den Altersgruppen bezüglich des Neulernens einer Koordinationsaufgabe generiert werden. Die Resultate werden nun im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

Voelcker-Rehage & Willimczik (2006) zeigten eine Erhöhung der Performance bei allen Altersgruppen beim Erlernen einer komplexen motorischen Fähigkeit. Jugendliche und jüngere Erwachsene im Alter von 15-29 Jahren erbrachten die besten Leistungen. Erwachsene im Alter von 60-79 Jahren (von 4,02 Punkten beim Pre-Test¹ zu 54,66 Punkten beim Post-Test) erbrachten signifikant höhere Leistungen als die jüngeren Kinder (5-9 Jahre) und signifikant niedrigere Leistungen als die jungen Erwachsenen (15-29 Jahren) und waren somit vergleichbar mit den Leistungen der älteren Kinder im Alter von 10 bis 14 Jahren. Eine Verminderung der motorischen Plastizität trat bereits ab einem Alter von 15-19 Jahren auf. Eine Verbesserung im Erlernen von sportmotorischen Fähigkeit ist somit auch noch im höheren Alter möglich.

Hoff et al. (2015) bemerkten, dass sowohl jüngere als auch ältere Probanden beim Erlernen einer bimanuellen seriellen Reaktionszeitaufgabe von Trainingstag 1 zu Trainingstag 2 eine Reduzierung der Reaktionszeiten erreichten. Jedoch erzielten jüngere Probanden ($83.96 \pm 7.24\%$) signifikant größere Verbesserungen in der Reduktion der Reaktionszeiten als die älteren Probanden ($54.97 \pm 3.49\%$). Bei bimanuellen Reaktionen zwischen den Händen konnte bei jüngeren Erwachsenen eine signifikant kürzere Reaktionszeit (418.81 ± 53.94 ms) als bei älteren Erwachsenen (719.01 ± 83.56 ms) festgestellt werden.

In der Studie von Boyd et al. (2008) wurde eine Erhöhung der durchschnittlichen Antwortzeit mit dem Alter der Probanden entdeckt. Jedoch konnten während der drei Testtage bei Vergleich der Antwortzeiten für wiederholende Sequenzen und Sequenzen mit Zufallsabfolge lediglich jüngere Erwachsene (222ms) und Erwachsene mittleren Alters (177ms) die durchschnittlich benötigte Zeit reduzieren. Ältere Probanden erlangten keine signifikante Reduzierung der Antwortzeiten und weisen daher Defizite beim Lernen von komplexen mehrdimensionalen Wiederholungssequenzen auf.

Die Studie von Ghisletta et al. (2010) zeigte beim Erlernen einer perzeptiv-motorischen Aufgabe, dass in allen Altersgruppen zu Beginn jeden Blockes große Fortschritte hinsichtlich der PR-Leistung erzielt wurden. Die größten Lernfortschritte konnten am ersten Tag während der Versuche 1-25 und der geringste während der Versuche 61-80 generiert werden. Die größten Lernerfolge wurden am Beginn am Tag 2 und 3 erzielt. Die Studie zeigte, dass altersbedingte Minderungen der Leistungszunahmen erst am Ende des zweiten Blockes auftraten und danach bestehen blieben. Altersbedingte Unterschiede konnten nicht durch Übung vermindert werden.

Shea et al. (2006) erkannten beim motorischen Lernen von Bewegungssequenzen hinsichtlich zufälliger Sequenzen keine signifikanten Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Probanden. Zufällige Sequenzen wurden von allen Probanden langsamer durchgeführt als die wiederholten Sequenzen. Ältere Probanden absolvierten die wiederholten Sequenzen signifikant langsamer als die jüngeren Probanden. Jüngere erzielten eine größere Verbesserung beim sequenzspezifischen Lernen und erreichten beim letzten Element eine Durchschnittsdauer von 302ms, SE=9,4. Ältere hingegen erreichten eine Verbesserung beim letzten Element auf 440ms, SE=8,8. Eine Erklärung könnte der Unterschied der Altersgruppen hinsichtlich implizitem und explizitem Lernen sein. Weiters könnten jüngere und ältere Probanden gleich effektiv im Erwerb von Sequenzwissen sein, jedoch ältere Teilnehmer weniger effektiv im Gebrauch der Informationen. Eine reduzierte Speicherkapazität und eine verlangsamte kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit im Alter könnten den Unterschied ausmachen.

In der Studie von Smith et al. (2005) wurde das motorische Lernen anhand einer motorischen Aufgabe getestet. Das motorische Lernen verlangsamte sich mit zunehmenden Alter. Aufgrund eines Regressionsmodells wurde eine Verlangsamungsrate für Personen unter 62 Jahren von 12 ms/Jahr und für Personen über 62 Jahren von 60 ms/Jahr geschätzt. Die jüngeren Probanden lernten die Aufgabe so schnell, dass innerhalb der ersten und zweiten Testung nur noch geringe Verbesserungen möglich waren. Ältere Probanden zeigten eine ausgeprägte Lernkurve. Zwischen erster und zweiter Testung erzielten die älteren Erwachsenen eine Verringerung der Zeit von 13% und die jüngeren Erwachsenen eine Verbesserung von 10%. Darüber hinaus zeigt die Studie, dass Erinnerungen an eine neu erworbene motorische Fähigkeit für mindestens zwei Jahre erhalten bleiben.

8. Koordinationstraining in der Praxis

In Anbetracht der gesammelten Ergebnisse soll nun im ersten Teil für Personen unterschiedlichen Alters ein für die Praxis anwendbares Trainingskonzept entwickelt werden, um gezielt mögliche Defizite in der Koordination auszugleichen. Im zweiten Abschnitt wird auf etwaige Erkrankungen eines Menschen und deren Behandlung mithilfe trainingstherapeutischer Methoden eingegangen. Koordinationstraining soll dabei helfen, einem schnellen Fortschreiten von Krankheiten entgegenzuwirken und die Selbstständigkeit von erkrankten Personen im Alltag verbessern zu können.

8.1. Trainierbarkeit von koordinativen Fähigkeiten in der Trainingstherapie

Da aufgrund der Ergebnisse bereits im mittleren Alter eines Menschen ein kontinuierlicher Abbau koordinativer Fähigkeiten erfolgt und dieser im höheren Alter fortlaufend voranschreitet, wird in diesem Abschnitt eine mögliche trainingstherapeutische Herangehensweise für bestimmte Zielgruppen betrachtet. Ziel ist es, Prinzipien und Methoden zu vermitteln, um die Bewegungskoordination zu verbessern und dadurch den Alltag für verschiedenste Aktivitäten erleichtern zu können. Angesichts der Tatsache, dass Menschen sehr unterschiedliche Grundvoraussetzungen in der Trainierbarkeit von koordinativen Fähigkeiten mitbringen, wird folglich ein allgemeines Konzept beschrieben. Zwei Autoren äußern sich über die altersspezifische Trainierbarkeit koordinativer Fähigkeiten:

- „Generell ist der Mensch bis ins hohe Alter in der Lage, sich neue motorische Fertigkeiten anzueignen sowie früher erworbene Fertigkeiten zu reaktivieren und zu modifizieren“ (Kirchner & Schaller, 1996, in Heidemann, 2006, S.48).
- „Für eine Förderung der Bewegungskoordination durch eine gezielte, entwicklungsgemäße koordinative Beanspruchung ist es nie zu früh und auch niemals zu spät“ (Neumaier, 1999, S.225).

Diese beiden Aussagen sollten nun nochmal verdeutlichen, dass egal in welcher Altersgruppe sich ein Mensch befindet, Koordination in jedem Alter trainierbar ist. „Für das Nachlassen der adaptiven Kapazität und die dadurch bedingte Verminderung der koordinativen Fähigkeiten im Altersprozess lassen sich – in unterschiedlicher Konstellation – vor allem folgende Ursachen verantwortlich machen: Schwächungen der Sinnesorgane, Schwächungen im muskulären Bereich (Kraft), Schwächungen im Gelenkbereich (Beweglichkeit), Veränderungen im neuronalen Bereich, Veränderungen im Stoffwechselbereich, fehlende Betätigung in Kindheit und Jugend“ (Schaller & Wernz, 2015, S.37).

Diesen Ursachen gilt es im Altersgang entgegenzuwirken, um einen Abbau von koordinativen Fähigkeiten möglichst lange zu vermeiden bzw. hemmen zu können. Roth (2014, S.21) erwähnte, dass eine Schulung der koordinativen Fähigkeiten spannend und abwechslungsreich sein sollte. Aufgrund dieser Tatsache wurden die Prinzipien der Neuartigkeit, der Vielseitigkeit und der Freudbetontheit entworfen.

Beim Prinzip der Neuartigkeit wird der Mensch mit einer Neugier auf das Unbekannte, das intuitive Handeln, Spontaneität und daher mit ungewöhnlichen Bewegungsaufgaben konfrontiert. Beim Prinzip der Vielseitigkeit soll eine breite motorische Erfahrungssammlung die aktuelle und langfristige Motivation zum Sporttreiben fördern. Es können vor allem Übungen verwirklicht werden, bei denen die Bedingungen der Informationsaufnahme verändert werden, verschiedene Körperteile einzusetzen sind, die Bewegungsparameter ständig variiert werden, die situativen Faktoren schnell und unvorhergesehen wechseln, Zusatzaufgaben gelöst werden und viele unterschiedliche Sportgeräte zur Anwendung kommen. Das Prinzip der Freudbetontheit behandelt die Glücksgefühle, die nach einer Handlung entstehen, wenn das Resultat besser ausfällt, als man das erwartet hat (Roth, 2014, S.21-22).

„Neben den allgemeingültigen und altersunabhängigen Empfehlungen des Einführens von neuen Bewegungen, der ungewohnten Ausführung (z.B. Werfen mit der nicht-dominanten Seite oder seitliches Treppensteigen) oder der Erhöhung der Komplexität (z.B. durch Zweitaufgaben oder einem Erhöhen der Genauigkeitsanforderungen) (Schaller & Wernz, 2008), spricht der Variabilität im Training, ergeben sich spezifische, altersabhängige Vorschläge: Ein Unterstützen der Wahrnehmung durch unebene Oberflächen, starke Farbkontraste und eine gute Beleuchtung der Trainingsstätten“ (Granacher et al. 2018, S.418).

„Um Leistungsverbesserungen erzielen zu können, müssen allgemeine Prinzipien der Trainingsplanung beachtet werden“ (Heidemann 2006, S.52-53, zit. nach Meinel & Schnabel, 2007):

1. Planmäßigkeit: Für ein effektives Training ist ein planmäßiger Trainingsaufbau nötig, um Erfolge zu erzielen.
2. Allmählichkeit: Mit Zunahme der Leistungsfähigkeit werden die Belastungsreize allmählich gesteigert, um Über- oder Unterforderung zu vermeiden.
3. Regelmäßigkeit: Um eine Leistungssteigerung zu erzielen, muss das Training regelmäßig durchgeführt werden.
4. Vielseitigkeit: Eine vielseitige Bewegungsschulung wirkt sich günstiger auf die Organsysteme und die Persönlichkeit älterer Sportler aus.

Beim Training der koordinativen Fähigkeiten werden von Blume (1978) die Differenzierungs-, Kopplungs-, Reaktions-, Orientierungs-, Gleichgewichts- und Umstellungsfähigkeit genannt. Diese koordinativen Fähigkeiten sollen mit folgenden Trainingsmethoden gezielt verbessert werden (Weineck, 1996, in Heidemann 2006, S.55):

- Variation der Bewegungsausführung (z.B. Wechsel von Bewegungstempo)
- Variation der äußeren Bedingungen (z.B. Partnereinwirkung)
- Kombination von Bewegungsfertigkeiten (Verbinden verschiedener Übungen)
- Üben unter Zeitdruck (z.B. Reaktionsschulung)
- Variation der Informationsaufnahme (Ausschalten der visuellen Kontrolle)
- Üben nach Vorbelastung (z.B. Einbeinstand nach Drehung)

Die methodischen Ausführungen zum Koordinationstraining finden sich inhaltlich in der „methodischen Grundformel für das Koordinationstraining“ (Roth, 1998, in Granacher et al., 2019, S.17). Zu einem gezielten Koordinationstraining gehört nach Roth (1998, S.92) die Addition der folgenden drei Begrifflichkeiten: beherrschte Fertigkeiten, sensorische Vielfalt/Informationsanforderungen und Druckbedingungen (Zeit, Präzision, Komplexität, Situation, Belastung) (Roth, 1998, S.92, in Granacher et al. 2019, S.17). „Kennzeichnend für eine „Methodik der Förderung koordinativer Fähigkeiten“ ist – allgemein betrachtet – die Erzeugung von „Irritationen“ und zusätzlichem Druck bei der Ausführung der Bewegungen“ (Schaller & Wernz, 2015, S.47).

„Feedback sollte einfach gehalten werden und nicht zu häufig zum Einsatz kommen. Schließlich sollte man genügend Zeit einplanen, um dem erhöhten Bedarf an Wiederholungen bei älteren Menschen gerecht zu werden“ (Granacher et al., 2018, S.418).

Bei Beachtung dieser genannten Trainingsprinzipien und –methoden ist es möglich, Defiziten von Personen höheren Alters in unterschiedlichen koordinativen Aufgaben entgegenzuwirken. Jahrelanges, regelmäßiges Praktizieren von rhythmischer Gymnastik äußert sich in einer verbesserten Fähigkeit, gleichseitige Hand-Fuß-Bewegungen zu koordinieren (Capranica et al., 2005, in Granacher et al. 2018, S.416), genauso wie regelmäßiges Schwimmen zu einer Verbesserung der Auge-Hand-Koordination führen kann (Hsu et al., 2010, in Granacher et al. 2018, S.416).

8.2. Koordinationstraining bei unterschiedlichen Erkrankungen

Da im Altersgang die Häufigkeit von Erkrankungen zunimmt, ist es die Intention der Masterarbeit, auch auf häufige Krankheitsbilder einzugehen und zielgruppenspezifisch Gestaltungsmöglichkeiten eines Koordinationstrainings zu entwickeln. Im folgenden Abschnitt wird nun die Trainierbarkeit von Personen mit neurologischen Erkrankungen und Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparats behandelt. Ziel ist es, durch trainingstherapeutische Methoden die Lebensqualität der betroffenen Personen zu verbessern.

8.2.1. Koordinationstraining bei unterschiedlichen neurologischen Erkrankungen

Um einen Einblick in die Gestaltung eines Koordinationstrainings bei unterschiedlichen neurologischen Krankheitsbildern bekommen zu können, wird eine Einteilung hinsichtlich „neurodegenerativer“, „zerebrovaskulärer“ und „neuroimmunologischen“ Erkrankungen vorgenommen. Sind erkrankte Personen einer dieser drei Kategorien zuzuordnen und somit beeinträchtigt, alltäglichen Aktivitäten nachgehen zu können, so spielt in der Rehabilitation koordinatives Training eine große Rolle, um möglichen Abbauprozessen entgegenzuwirken und neue motorische Fertigkeiten erwerben zu können. Im folgenden Teil soll nun zielgruppenspezifisch Koordinationstraining entwickelt und mögliche Assessment-Tests zur Beurteilung der Effektivität des Trainings behandelt werden.

Neurodegenerative Erkrankungen sind langsam fortschreitende Krankheiten des Nervensystems, die durch einen Untergang von Nervenzellen gekennzeichnet sind (Hähner & Welge-Lüssen, 2010, S.644).

Die häufigsten neurodegenerativen Krankheiten sind mit 60-70% aller neurologischen Erkrankungen Demenzen wie zum Beispiel Morbus Alzheimer (Müller, 2020, S.113). „Die Alzheimer-Krankheit ist die häufigste Form der Demenz. Das Risiko, daran zu erkranken, steigt mit dem Alter – insbesondere ab 65 Jahren – signifikant an. Die klinischen Symptome sind sich progressiv verschlechternde kognitive Defizite, insbesondere Störungen des deklarativen (hippocampusabhängigen) Gedächtnisses, und Verhaltensänderungen“ (Frahm & Witte, 2019, S.167). Patienten mit demenziellen Erkrankungen sind neben kognitivem Leistungsverlust und dem Auftreten von Verhaltensauffälligkeiten, auch durch den Verlust motorischer und funktioneller Leistungen (z.B. Kraft, Balance, Gangleistungen) gekennzeichnet. Demenzerkrankte zeigen Einschränkungen der mobilitätsabhängigen Lebensqualität und ein hohes Sturzrisiko (Schwenk & Hauer, 2008, S.12-15).

Nach Schwenk & Hauer (2008) kann das Koordinationstraining von demenzerkrankten Personen in Form eines aufmerksamkeitsorientierten Dual Task-Training durchgeführt werden. Motorische (Gehen) und kognitive Aufgaben sollen simultan trainiert und computergestützt objektiviert (Ganganalyse, digitale Aufzeichnung von kognitiven Leistungen) werden. Ab Beherrschen einer geringen Zusatzbelastung (z.B. vorwärts zählen in 2er Schritten), kann die Schwierigkeit der Aufgaben erhöht werden (z.B. rückwärts zählen in 3er Schritten). Weiters können auch simultan motorische Dual Tasks (z.B. Gehen und Luftballon zuspielen, Gehen und Ball zuprellen) integriert werden (Schwenk & Hauer, 2008, S.29).

Zur Beurteilung der Effektivität des Trainings können je nach körperlicher Verfassung der Tinetti Test und der Timed-up-and-go Test benutzt werden (Schwenk & Hauer, 2008, S.23).

Die zweithäufigste neurodegenerative Krankheit ist Morbus Parkinson (Müller, 2020, S.113). „Die Parkinson-Krankheit betrifft mehr als einen von 100 Erwachsenen in einem Alter über 60 Jahren, Tendenz steigend. Das idiopathische Parkinson-Syndrom ist durch motorische und kognitive Verhaltensänderungen charakterisiert, basierend auf einer Degeneration dopaminerger Neurone der Substantia nigra“ (Frahm & Witte, 2019, S.166). „Patienten mit Parkinson zeigen schon in frühen Stadien posturale Defizite, die sich im höheren Alter als krankheitsspezifische Veränderung nachweisen lässt. Insbesondere durch kognitive Ablenkung scheinen Stürze provoziert zu werden“ (Diemer & Sutor, 2012, S.173). Daher wurde von Diemer & Sutor (2012, S.173-174) ein Balancetraining mit folgenden zwei Hauptansätzen empfohlen:

- Quasistatische Übungen mit dem Ziel, das Gleichgewicht im Stand ohne Verlagerung des Körperschwerpunktes zu erhalten (Stand, Stand auf einer instabilen Unterlage)
- Dynamische Übungen, wobei der Körperschwerpunkt im Raum bewegt wird (Kniebeugen, vorwärts/rückwärts/seitwärtsgehen)

Um koordinative Fähigkeiten verbessern zu können, eignet sich auch der Tanz als eine wichtige Sportart bei Patienten mit Parkinson-Erkrankung (Neurührer, 2009, S. 105). „Er beinhaltet in optimaler Weise Trainingsreize für alle koordinativen Fähigkeiten und leistet damit einen nicht hoch genug einzuschätzenden Beitrag zum Erhalt oder zur Steigerung der Geh- und Laufsicherheit. Durch die vielfältigen Raumbewegungen (vorwärts/rückwärts, Drehungen in alle Richtungen etc.) unter ständig wechselnden Bedingungen erfolgt ein Höchstmaß an komplexer koordinativer Schulung, und dies bei bester Belastungsdosierbarkeit“ (Weineck, 2004, S. 436).

Zur Beurteilung der Effektivität des Trainings können je nach körperlicher Verfassung der Sit-to-Stand Test und der Timed Up and Go Test benutzt werden (Diemer & Sutor, 2012, S.174).

„Zerebrovaskuläre Erkrankungen manifestieren sich typischerweise als akutes fokalneurologisches Defizit in wechselnder Ausprägung nach einer umschriebenen zerebralen Durchblutungsstörung oder einer intrakraniellen Blutung. Einem Schlaganfall können sowohl Durchblutungsstörungen als auch Blutungen in das Gehirn zugrunde liegen“ (Henereici & Kern, 2017, S.6-7).

„Etwa 80% der Schlaganfälle sind auf eine Störung der Durchblutung des Gehirns zurückzuführen, und das Risiko steigt mit zunehmendem Alter. Der Schlaganfall rangiert unter den 3 häufigsten Todesursachen weltweit“ (Frahm & Witte, 2019, S.169). Bei Patienten mit einem Schlaganfall bestimmen Lokalisation, Ausmaß und Art des Hirninfarktes die Funktionserholung. Die Erholung von einem Schlaganfall wird durch die Beteiligung größerer Leitungsbahnen der weißen Substanz und Affektion oder Diskonnektion des Hippokampus als Struktur für Lernen und Wiedererlernen von Funktionen beeinträchtigt (Knecht et al., 2011, 600). „So können etwa das Gehen, die Fähigkeit, die Hand einzusetzen, das Sprechen, das Sicherinnern oder andere Fertigkeiten und auch das emotionale Erleben betroffen sein“ (Fries, 2007, S.1). Eine Parese der oberen Extremität findet man bei circa 80% der Schlaganfall-Patienten (Knecht et al., 2011, 603).

Um die Funktion verbessern zu können, wird ein „bilaterales Training“ eingesetzt um mit beiden Armen gleichzeitig symmetrische Bewegungen bei der Therapie ausführen zu können (Platz & Roschka, 2011, S. 22). Weiters sollen mithilfe einer „Spiegeltherapie“ die Hirnareale, die für die Bewegung des gelähmten Armes zuständig sind, angeregt werden. „Wenn der Patient nun Bewegungen mit der gesunden Hand ausübt und dabei in den Spiegel schaut, dann sieht es für ihn so aus, als würde sich die gelähmte Hand bewegen“ (Platz & Roschka, 2011, S. 29). In Form einer „Constrained-Induced Movement Therapy“ soll der nicht betroffene Arm immobilisiert und dadurch beim betroffenen Arm ein deutliches Mehr an Bewegungen „induziert“ werden. Hierbei soll gezielt aufgabenorientiertes Training eingesetzt werden mit dem Ziel funktionelle Fähigkeiten zu verbessern. Berücksichtigt werden sollte jedoch, dass genügend Gleichgewicht vorhanden ist (Platz & Roschka, 2011, S. 26-28). Zur Förderung koordinativer Fähigkeiten insbesondere der Auge-Hand-Koordination können Übungen mit dem Gymnastikstab durchgeführt werden (Putz & Hübscher, 1999, S.12). Zur Verbesserung der Hand- und Fingerkoordination werden Materialien wie Seil (Erlernen verschiedener Knoten) und Münzen („Wandernlassen“ der Münze zwischen den Fingern) verwendet (Putz & Hübscher, 1999, S.13).

Um die aktive Bewegungsfähigkeit und die Effektivität des Trainings beurteilen zu können, werden je nach körperlicher Verfassung der „Box-and-Block Test“ und der „Nine-Hole-Peg Test“ und der „Rivermead Motor Assessment Test“ durchgeführt (Platz & Roschka, 2011, S.13-17).

„Bei neuroimmunologischen Krankheitsbildern kommt es zu einer Immunreaktion gegen körpereigene Antigene, meist in Form einer Entzündungsreaktion, was eine Schädigung von körpereigenem Gewebe zur Folge haben kann“ (Calvanico, 1993; Dalmau, 2015; Fereidan-Esfahani et al., 2019, in Schmidt, 2019, S.4).

Multiple Sklerose (MS) ist eine chronisch entzündliche Autoimmunerkrankung des Gehirns und des Rückenmarks, deren erste Symptome oft zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr bevorzugt bei Frauen auftreten und weltweit über 2,5 Mio. junge Erwachsene betrifft (Frahm & Witte, 2019, S.169). MS-Patienten umfassen eine breite Palette von Symptomen wie visuelle Störungen, Schwäche der unteren Extremitäten, Koordinationsschwierigkeiten und sensorische Beeinträchtigungen. Darüber hinaus können unsichtbare Symptome wie Blasenstörungen, Müdigkeit, Depressionen und kognitive Beeinträchtigungen häufig in den frühen Stadien der Krankheit auftreten (Flachenecker, 2012, S. 221).

Um koordinative Fähigkeiten bei Personen mit MS zu fördern, werden von Scheunemann (1997) mit diversen Reaktionsübungen, Rhythmischen Übungen, Gleichgewichtsübungen, Ballspielübungen oder Orientierungslinien beim Gehen einige Alternativen genannt (Scheunemann, 1997, S.140-141; in Neurührer, 2009, S.83). Burschka et al. (2014) zeigt in einer Studie, dass das chinesische Schattenboxen „Tai Chi“ die Gleichgewichtsleistung bzw. die Koordination verbessert und positive Auswirkungen auf Stimmung und Müdigkeit von Personen mit MS haben kann (Burschka et al., 2014, S.7). Yang et al. (2016) zeigte bei Einsatz eines Vibrationstrainings mittels Vibrationsplatte (Galileo) eine Verbesserung der Funktion der unteren Extremitäten, der Funktion der oberen Extremitäten und der kognitiven Funktion (Yang et al., 2016, S.96-101).

Zur Beurteilung der Effektivität des Trainings können je nach körperlicher Verfassung der „Berg Balance Scale“, „Timed 25-Foot Walk“, „Timed Up and Go Test“, „Fatigue Scale for Motor and Cognitive Functions“ und „9-Hole Peg Test“ absolviert werden (Potter et al., 2014, 593-608).

8.2.2. Koordinationstraining bei Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparats

In diesem Abschnitt soll ein Einblick in die Gestaltung eines Koordinationstrainings für Patienten mit Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparats ermöglicht werden. Häufige Erkrankungen wie „Osteoporose“ und „Arthrose“ werden vorgestellt und gezielt trainingsspezifische Ansätze ausgearbeitet.

Osteoporose wurde von der „National Institutes of Health Consensus Development Panel on Osteoporosis“ (2001) folgendermaßen definiert: „Die Osteoporose ist eine systemische Skeletterkrankung, die durch eine niedrige Knochenmasse und eine Verschlechterung der Mikroarchitektur des Knochengewebes charakterisiert ist. Daraus folgt eine gesteigerte Knochenbrüchigkeit.“ „Das Sturzrisiko bei Osteoporosepatienten ist aufgrund der Abnahme der Knochendichte und der geringen Knochenfestigkeit sehr hoch. Muskelschwäche, Gangunsicherheit, Beeinträchtigungen des Sehvermögens oder auch die bloße Angst vor dem Fallen können Stürze begünstigen“ (Eschwey, 2015, S.49).

Gleichgewichtstraining in Form von dynamischen und statischen Positionen (Tandemstand, Zehengang, Fersengang, seitwärtsgehen, während dem Gehen ein Bein hochziehen und diagonal den Arm anheben, Einbeinstand) erzeugte bei Osteoporose-Patienten große Wirkung in Bezug auf die Mobilität und verringerte die Sturzanfälligkeit (Madueira et al., 2007, S.422).

Zur Beurteilung der Effektivität des Trainings können je nach körperlicher Verfassung der „Timed-Up-and-Go-Test“ oder „Chair-rising-Test“ herangezogen werden (Baum & Peters, 2008, S.577).

„Arthrose ist eine Gelenkfehlfunktion aufgrund struktureller Schäden. Den pathophysiologischen Kernprozess dieser Erkrankung bilden die Schäden am hyalinen Gelenkknorpel und am subchondralen Knochen.“ „Unabhängig von den nachgewiesenen strukturellen Veränderungen innerhalb der Gelenke bestehen unterschiedliche Krankheitssymptome (Schmerzen, Bewegungseinschränkungen mit daraus resultierenden Funktionseinschränkungen und Verminderung der Lebensqualität des Betroffenen)“ (Spahn et al., 2018, 388-389). Beim Neuerlernen von Sportarten mit arthrotischen Gelenken ist oft die mangelnde Koordination ein Hindernis, da die schmerzhaft Blockade oder eingeschränkte Gelenkfunktionalität ein Erlernen der Bewegungen kaum möglich macht (Nehrer & Neubauer, 2021).

Koordinative Fähigkeiten werden mithilfe instabiler Unterstützungsflächen (Therapiekreisel, Kippbretter, Airex-Balance Pads, Minitrampolin und Posturomed) zur Förderung der Sensivität und Regelleistung der Motorik trainiert (Horstmann et al., 2001, S. 276-277).

„Die muskuläre Stabilisierung und die damit verbundenen koordinativen Fähigkeiten können durch einfache Übungen und Tests wie den Einbeinstand, Up and-Go oder Gehdistanztests erhoben werden“ (Nehrer & Neubauer, 2021).

9. Diskussion

Damit der aktuelle Forschungsstand bezüglich des Themenkomplexes der altersspezifischen Veränderungen der Bewegungskoordination und des motorischen Lernens erhoben werden konnte, wurden in der vorliegenden Masterarbeit 15 Studien vorgestellt. Zunächst widmete sich die Arbeit den Veränderungen von Komponenten der Bewegungsfertigkeit. Dabei befassten sich vier Studien mit der „Feinmotorik“, zwei Studien mit der „Auge-Hand-Koordination“, vier Studien mit der „bimanuellen Koordination von Arm- und Handbewegungen“ und eine Studie mit dem „Gleichgewicht“. In weiterer Folge konnten sechs Studien hinsichtlich des Erlernens von koordinativen Fähigkeiten herangezogen werden.

Bei Untersuchung der Veränderung der „Feinmotorik“ im Alter zeigten die Ergebnisse, dass im Kindesalter von 7-12 Jahren die geringsten Werte erzielt wurden. Erst danach verbesserte sich die feinmotorische Leistung bis ins mittlere Alter und erreichte bei 26 Jahren ihren Höhepunkt. Anschließend erfolgte ein kontinuierlicher Abbau der Leistungsfähigkeit (Liutsko et al., 2014; Leversen et al., 2012). Bei der Messung der Fingerspitzenkraft erzielten jüngere Probanden gegenüber älteren Probanden ein besseres Ergebnis (Dayanidhi et al., 2014; Shim et al., 2004). Wie auch schon bei der „Feinmotorik“ wurden bei Aufgaben der „Auge-Hand-Koordination“ die schwächsten Resultate von der Altersgruppe 7-9 Jahren erzielt. Die besten Werte hingegen erreichte die Altersgruppe 26-35 Jahre, womit hier ein Höhepunkt zu verzeichnen war. Danach stieg die Dauer für die Lösung der Aufgabe kontinuierlich an (Leversen et al., 2012). Die „bimanuelle Koordination“ erreichte schon im Alter von 20 Jahren ihren Höhepunkt und nahm ab einem Alter von 40 Jahren kontinuierlich ab (Boisgontier et al., 2018). Jüngere Probanden erreichten bei unterschiedlichen Frequenzen bzw. erhöhter Frequenz genauere und stabilere Ergebnisse als die älteren Probanden (Wishart et al., 2000; Fujiyama et al., 2016). Eine ähnliche Entwicklung zeigte sich bei Gleichgewichtsaufgaben. Während Kinder im Alter von 7-9 Jahren und Erwachsene im Alter von 66-80 Jahren die schwächsten Ergebnisse lieferten, verbesserte sich das Gleichgewicht im frühen Erwachsenenalter kontinuierlich und erreichte bei 36-45 Jahren ihren Höhepunkt. Danach konnte eine kontinuierliche Verschlechterung festgestellt werden (Leversen et al., 2012).

Hintergrund der Veränderung der Bewegungskoordination bzw. der Verminderung der koordinativen Leistungsfähigkeit im Alter sind degenerative Veränderungen im Gehirnvolumen, in den kortikalen Bereichen des sensomotorischen Systems und in dem diffusen kortikalen Netzwerk (Dayanidhi et al., 2014). Ältere Erwachsene zeigen eine ausgedehntere Aktivierung in motorischen, sensorischen und kognitiven Regionen (SMA und SII links) des Gehirns um vergleichbare Leistungen zu erreichen (Goble et al., 2010).

Im Alter kommt es auch zum Abbau der grauen Substanz im M1, wobei diese Substanz ein Prädiktor für die Koordinationsleistung ist (Boisgontier et al., 2018). Eine Verringerung der optimalen Mikrostruktur der weißen Substanz des Gehirns und eine verminderte Fähigkeit, die Interaktion zwischen dem dorsolateralem und präfrontalem Cortex und M1 zu regulieren, ist im höheren Alter ersichtlich. (Fujiyama et al., 2016) Weiters führen der Verlust an motorischen Einheiten im Muskel und Prozesse der Reinnervation zu größeren und langsameren motorischen Einheiten (Shim et al., 2004).

Die besten Leistungen beim Erlernen einer komplexen motorischen Fähigkeit erbrachten die jüngeren Erwachsenen im Alter von 15-29 Jahren. Nach diesem Alter erfolgte ein kontinuierlicher Abbau der motorischen Plastizität (Voelcker-Rehage et al., 2006). Das motorische Lernen verlangsamt sich mit zunehmenden Alter. Eine Verlangsamungsrate für Personen unter 62 Jahren von 12ms/Jahr und für Personen über 62 Jahren von 60ms/Jahr konnte anhand eines Regressionsmodells geschätzt werden (Smith et al., 2005). Eine reduzierte Speicherkapazität und eine verlangsamte kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit im höheren Alter könnte den Unterschied von jüngeren und älteren Erwachsenen ausmachen (Shea et al., 2006). Dennoch dürfen sich sowohl Jüngere als auch Ältere über Lernfortschritte erfreuen (Hoff et al., 2015; Ghisletta et al., 2010; Shea et al., 2006).

Jüngere Erwachsene erlernen koordinative Aufgaben so schnell, dass die Verbesserung zwischen zwei Testungen gering ist (Smith et al., 2005). Auf Anfängerebene haben ältere Menschen eine höhere Lernrate (Ghisletta et al., 2010). Damit wird gezeigt, dass eine Verbesserung im Erlernen von sportmotorischen Fähigkeiten somit auch noch im höheren Alter möglich ist (Voelcker-Rehage & Willimczik, 2006).

Aufgrund dieser Erkenntnisse kann das Fazit gezogen werden, dass ältere Personen signifikant länger benötigen als jüngere Personen um koordinativen Fähigkeiten zu erlernen.

Um spezifisch ältere Personen zu fördern und koordinative Fähigkeiten verbessern zu können, wird systematisch Koordinationstraining angeboten. Ziel ist es, durch dieses Training die Selbständigkeit von eingeschränkten Personen zu erhöhen, um alltägliche Aktivitäten meistern zu können. Weiters soll Koordinationstraining dazu dienen, um einem schnellen Fortschreiten von Krankheiten entgegenzuwirken und somit die Lebensqualität erkrankter Personen verbessern zu können. Aufgrund unterschiedlicher Leistungsvoraussetzungen wird in der Arbeit eine sehr allgemeine Trainingsgestaltung betrachtet.

Grundsätzlich sollte ein Koordinationstraining nach den Prinzipien der Neuartigkeit, Vielseitigkeit und Freudbetontheit aufgebaut werden. Eine Breite an neuen unbekannten Erfahrungen wird vermittelt, die mit Glücksgefühlen verbunden sind. Sie entstehen nach einer

Handlung, wenn das Resultat besser ausfällt, als man das erwartet hat (Roth, 2014, S.21). Um Leistungsverbesserungen erzielen zu können, sollten die Prinzipien der Trainingsplanung berücksichtigt werden. Dabei wurden die Grundsätze der „Planmäßigkeit“, Allmählichkeit“, „Regelmäßigkeit“ und Vielseitigkeit“ genannt (Meinel & Schnabel, 2007, in Heidemann 2006, S.52-53). Koordinative Fähigkeiten können schließlich mit den Trainingsmethoden „Variation der Bewegungsausführung“, „Variation der äußeren Bedingungen“, „Kombination von Bewegungsfertigkeiten“, „Üben unter Zeitdruck“, „Variation von Informationsaufnahme“ und „Üben nach Vorbelastung“ verbessert werden (Weineck, 1996, in Heidemann 2006, S.55). Zu einem gezielten Koordinationstraining gehören daher nach Roth (1998, S.92) die Addition der „beherrschten Fertigkeiten“, „sensorische Vielfalt/Informationsanforderungen“ und „Druckbedingungen“.

Da Erkrankungen mit dem Alter zunehmen, wurde in der vorliegenden Arbeit auch auf eine mögliche Gestaltung eines Koordinationstrainings bei diversen Erkrankungen eingegangen. Da bei neurologischen Patienten häufig Koordinationsschwierigkeiten von Bewegungen auftreten, womit vermehrt Stürze provoziert werden, wird in der Praxis auf die Relevanz von simultan motorischen Dual Tasks (Schwenk & Hauer, 2008, S.29), Balancetraining in Form von quasistatischen Übungen und dynamischen Übungen (Diemer & Sutor, 2012, S.173-174) und Therapieformen wie „bilaterales Training“ und „Spiegeltherapie, „Constrained-Induced Movement Therapy“ hingewiesen (Platz & Roschka, 2011, S.22-29). Materialien wie Gymnastikstäbe, Seile und Münzen werden zur Verbesserung der Auge-Hand-Koordination und Hand-Fingerkoordination herangezogen (Putz & Hübschner, 1999, S.13) Sportarten wie „Tai Chi“ und der „Tanz“ beinhalten optimale Trainingsreize aller koordinativen Fähigkeiten (Neurührer, 2009, S.105; Burschka et al., 2014, S.7). Um das Sturzrisiko von orthopädischen Patienten verringern zu können, befasst sich die Arbeit auch gezielt mit Gleichgewichtstraining. Gleichgewichtstraining in Form von dynamischen und statischen Positionen (Tandemstand, Zehengang, Fersengang, seitwärtsgehen, während dem Gehen ein Bein hochziehen und diagonal den Arm anheben, Einbeinstand) sollte zur Sturzprophylaxe angewendet werden (Madueira et al., 2007, S.422).

10. Ausblick

Da die derzeitige Studienlage noch unzureichende Ergebnisse bezüglich der Auswirkung von spezifischen bzw. indikationsbezogenen Trainingskonzepten auf die Bewegungskoordination und kognitiven Prozesse von älteren Menschen liefert, wäre eine Erforschung dieser Thematik äußerst interessant.

11. Literaturverzeichnis

- Baum, E. & Peters, K. M. (2008). Primäre Osteoporose – leitliniengerechte Diagnostik und Therapie. *Deutsches Ärzteblatt* 2008, 105(33), 573-582.
<https://doi.org/10.3238/arztebl.2008.0573>
- Blume, D. D. (1978). Zu einigen wesentlichen Grundpositionen für die Untersuchung der koordinativen Fähigkeiten. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 27(1), 29-36.
- Boisgontier, M. P., Cheval, B., Van Ruitenbeck, P., Cuypers, K., Leunissen, I., Sunaert, S., Meesen, R., Adab, H. Z., Renaud, O., Swinnen, S. P. (2018). Cerebellar grey matter explains bimanual coordination performance in children and older adults. *Journal of Neurobiology of Aging*, 109-120. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2018.01.016>
- Boyd, L., Vidoni, E., Siengsukon, C. (2008). Multidimensional Motor Sequence Learning Is Impaired in Older But Not Younger or Middle-Aged Adults. *Physical Therapy*, 88(3), 351-362. <https://doi.org/10.2522/ptj.20070131>
- Burschka, J. M., Keune, P. M., Hofstadt-van Oy, U., Oschmann, P., Kuhn, P. (2014) Mindfulness-based interventions in multiple sclerosis: beneficial effects of Tai Chi on balance, coordination, fatigue and depression. *BMC Neurology*, 7.
<http://www.biomedcentral.com/1471-2377/14/165>
- Calautti, C., Serrati, C., Baron, J.-C. (2001). Effects of age on brain activation during auditory-cued thumb-to-index opposition: A positron emission tomography study. *Stroke*, 32(1), 139-146. <https://doi.org/10.1161/01.STR.32.1.139>
- Calvanico, N.J. (1993). The humoral immune response in autoimmunity. *Dermatologic Clinic*, 11(3), 379-89. [https://doi.org/10.1016/S0733-8635\(18\)30237-7](https://doi.org/10.1016/S0733-8635(18)30237-7)
- Capranica, L., Tessitore, A., Olivieri, B., Pesce, C. (2005). Homolateral hand and foot coordination in trained older women. *Gerontology*, 51(5), 309-315.
<https://doi.org/10.1159/000086367>
- Dalmau J. (2015). Observations on the evolving fields of neuroimmunology and neuroinflammation. *Neurology Neuroimmunology Neuroinflammation*, 2(1): e67.
<https://doi.org/10.1212/NXI.0000000000000067>
- Dayanidhi, S. & Valero-Cuevas, F. J. (2014). Dexterous Manipulation Is Poorer at Older Ages and Is Dissociated From Decline of Hand Strength. *Journals of Gerontology: Medical Sciences*, 69(9), 1139–1145. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu025>

- Diemer, F. & Sutor, V. (2012). Richtig trainieren bei Morbus Parkinson, *neuoreha* 2012, 4(04), 170-177. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1331358>
- Eschwey, A.F. (2015). Lebensqualität und Prävention bei chronischen Erkrankungen des Bewegungsapparates. 49
- Fereidan-Esfahani M., Nayfeh, T., Warrington, A., Howe, C.L., Rodriguez, M. (2019). IgM natural autoantibodies in physiology and the treatment of disease. *Methods Human Monoclonal Antibodies*, 1904, 53-81. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8958-4_3
- Flachenecker, P. (2012). Autoimmune diseases and rehabilitation. *Autoimmunity reviews*, 11(3), 219–225. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2011.05.016>
- Frahm, C. & Witte, O.W. (2019). Mikrobiom und neurodegenerative Erkrankungen. *Der Gastroenterologe*, 14, 166-171. <https://doi.org/10.1007/s11377-019-0345-2>
- Fries, W. (2007). Rehabilitation zur Teilhabe: eine Standortbestimmung. In: Fries W, Lössl H, Wagenhäuser S (Hrsg) Teilhaben! Neue Konzepte der Neurorehabilitation – für eine erfolgreiche Rückkehr in Alltag und Beruf. *Georg Thieme Verlag*, Stuttgart, 1.
- Fujiyama, H., Soom, J.V., Rens, G., Gooljers, J., Leunissen, I., Levin, O., Swinnen, S.P. (2016). Age-related changes in frontal network structural and functional connectivity in relation to bimanual movement control. *The Journal of Neuroscience*, 36(6), 1808-1822. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3355-15.2016>
- Gershon, E.J. (1978). A Study of age and sex differences in the acquisition of a complex motor skill. *Review Education Physics*, 18, 362-372
- Ghisletta, P., Kennedy, K. M., Rodrigue, K. M., Lindenberger, U. & Raz, N. (2010). Adult age differences and the role of cognitive resources in perceptual-motor skill acquisition: application of a multilevel negative exponential model. *Journals of Gerontology: Psychological Science*, 65B(2), 163-173. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbp126>
- Glatzfelder, Th. & Rohner, R. (2006). Bewegungslehre 2. 1-23. Zugriff am 28.01.2021 unter <http://www.efsport.ch/skripts/pdf-dateien/bewegungslehre2.pdf>
- Goble, D. J., Coxon, J. P., Van Impe, A., De Vos, J., Wenderoth, N., Swinnen, S. P. (2010). The neural control of bimanual movements in the elderly: Brain regions exhibiting age-related increases in activity, frequency-induced neural modulation, and task-specific compensatory recruitment. *Human Brain Mapping*. 31(8), 1281-1295. <https://doi.org/10.1002/hbm.20943>
- Granacher, U., Mechling, H., Voelcker-Rehage, C. (2018). Handbuch Bewegungs- und Sportgerontologie, *Hofmann-Verlag*, Schorndorf, 216-439

- Granacher, U., Golle, K., Mechling, H. (2019). Koordinative Fähigkeiten und Koordinationstraining im Sport. 17. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53386-4_51-1
- Guan, J. & Wade, M., G. (2000). The Effect of Aging on Adaptive Eye-Hand Coordination. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 55B(3), 151-162. <https://doi.org/10.1093/geronb/55.3.P151>
- Hähner, A. & Welge-Lüssen, A. (2010). Riechstörungen bei neurodegenerativen Erkrankungen. HNO 2010. Springer-Verlag, 58, 644. <https://doi.org/10.1007/s00106-010-2122-x>
- Heidemann, K. (2006). Bewegungskoordination im Alter. Eine experimentelle Studie zum Training der Gleichgewichtsfähigkeit. 32-55
- Hennerici M. G. & Kern R. (2017). Diagnostik akuter zerebrovaskulärer Erkrankungen. In: Deutsche Gesellschaft für Neurologie, Hrsg. Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. Zugriff am 03.04.2021 unter www.dgn.org/leitlinien
- Hoff, M., Trapp, S., Kaminski, E., Sehm, B., Steele, C. J., Villringer, A., Ragert, P. (2015). Switching between hands in a serial reaction time task: a comparison between young and old adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7(176), 1-7. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00176>
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin (4. Auflage). New York: Schattauer Verlag, 132
- Horstmann, T., Heitkamp, H.C., Haupt, G., Merk, J., Mayer, F., Dickhuth, H.-H. (2001). Möglichkeiten und Grenzen der Sporttherapie bei Coxarthrose- und Hüftendoprothesen – Patienten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52(10), 276-277
- Hsu, H.C., Chou, S.W., Chen, C.P., Wong, A.M., Chen, C.K. & Hong, J.P. (2010). Effects of swimming on eye hand coordination and balance in the elderly. *The journal of nutrition, health & aging*. 14(8), 692-695. <https://doi.org/10.1007/s12603-010-0134-6>
- Ketcham, C. J., Seidler, R. D., Van Gemmert, A. W. A., Stelmach, G.E. (2001). Age-related declines in motor control. In J.E.Birren & K. W. Schaie (Hrsg.), *Handbook of the psychology of aging*. San Diego, CA, USA: Academic. <https://doi.org/10.1093/geronb/57.1.P54>
- Kirchner, G. & Schaller, H.-J. (1996). Motorisches Lernen im Alter: Grundlagen und Anwendungsperspektiven. Aachen: Meyer & Meyer.
- Knecht, S., Hesse, S., Oster, P. (2011). Rehabilitation after stroke. *Deutsches Ärzteblatt*, 600-606. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2011.0600>

- Leveresen, J.S.R., Haga, M., Sigmundsson, H. (2012). From Children to Adults: Motor Performance across the Life-Span. *PLoS ONE* 7(6): e38830, 1-7.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038830>
- Liutsko, L., Muinos, R., Tous-Ral, J. M. (2014). Age-related differences in proprioceptive and visuoproprioceptive function in relation to fine motor behavior. *European Journal of Ageing*, 11, 221-232. <https://doi.org/10.1007/s10433-013-0304-6>
- Loosch, E. (1999). Allgemeine Bewegungslehre. Wiebelsheim: Limpert, 220
- Madureira, M.M., Takayama, L., Gallinaro, A.L., Caparbo, V.F., Costa, R.A., Pereira, R.M.R. (2007). Balance training program is highly effective in improving functional status and reducing the risk of falls in elderly women with osteoporosis: a randomized controlled trial. *Osteoporosis International* 2007, 18, 419-425. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0252-5>
- Mechling, M. & Munzert, J. (2003). Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre. *Verlag Hofmann Schorndorf*, 131
- Meinel, K. & Schnabel, G. (1987). Bewegungslehre - Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2007). Bewegungslehre Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt. (11. überarbeitete Auflage). *Aachen: Meyer & Meyer Verlag*, 28-32
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & for the PRISMA Group (2009). Preferred reporting Items for systematic reviews and meta-Analyses: The PRISMA Statement. *BMJ*, 339(jul21 1), b2535-b2535. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
- Müller P. (2020). Körperliche Aktivität und Sport in der Prävention und Therapie neurodegenerativer Erkrankungen. *Deutsche Zeitung für Sportmedizin*, 71, 113-116.
<https://doi.org/10.5960/dzsm.2020.418>
- Nehrer, S. & Neubauer, M. (2021). Möglichkeiten und Grenzen der konservativen Therapie der Arthrose – Sportberatung, Trainingstherapie, Orthesen und Knorpeltherapeutika.
<https://doi.org/10.1007/s00132-021-04100-0>
- Neumaier, A. (1999). Koordinatives Anforderungsprofil und Koordinationstraining. Grundlagen – Analyse – Methoden. *Köln: Sport und Buch Strauß*. 225
- Neurührer, M. (2009). Sporttherapie bei neurologischen Erkrankungen mit den Schwerpunkten Multiple Sklerose und Parkinson. 83-105

- NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy (2001). Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *JAMA*, 285, 785–795. <https://doi.org/10.1001/jama.285.6.785>
- Platz, Th. & Roschka, S. (2011). Rehabilitative Therapie bei Armlähmungen nach einem Schlaganfall – Patientenversion der Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Neurorehabilitation. *Hippocampus Verlag, Bad Honnef*, 1-52.
- Potter, K., Cohen, E. T., Allen, D. D., Bennett, S. E. Brandfass, K. G., Widener, G. L., Yorke, A. M. (2014). Outcome Measures for Individuals with Multiple Sclerosis: Recommendations from the American physical therapy association neurology section task force. *Physical Therapy*, 94(5), 593-608. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130149>
- Putz, C. & Hüber, J., (1999). Ambulante bewegungstherapeutische Betreuung von Patienten nach Schlaganfall. 12-13. Zugriff am 03.04.2021 unter <https://www.researchgate.net/publication/264037526>
- Praxl, N. (2001). Zur Bedeutung passiver Muskeleigenschaften für die menschliche Bewegungskoordination - Simulationsexperimente mit einem biomechanischen Armmodell und aktiver Muskelsteuerung, *Herbert Utz Verlag GmbH*, 1
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In: F.I.M. Craik & T.A. Salthouse (Hrsg.), *The handbook of aging and cognition*. Mahwah, NJ, USA: Erlbaum
- Rieder, H. (1991). Bewegungslernen. In Rieder, H. & Lehnertz, K. (1991). *Bewegungslernen und Techniktraining (Studienbrief der Trainerakademie Köln des Deutschen Sportbundes*, 21, 9-106). *Schorndorf: Hofmann-Verlag*.
- Roth, K. (1998). Wie verbessert man koordinative Fähigkeiten? In B. Sportpädagogen (Hrsg.), *Methoden im Sportunterricht – Ein Lehrbuch in 14 Lektionen. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport* (4., unveränd. [2003] Aufl., 85–102). *Schorndorf: Hofmann*, 92
- Roth, K. (2014) Begriffliche und theoretische Grundlagen der Koordinationsschulung. *Hofmann-Verlag*, 21-22
- Rüegg, G. (2011). Gehirn, Psyche und Körper. *Neurobiologie von Psychosomatik und Psychotherapie*. 5. Auflage, 19
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.103.3.403>.

- Schaller, H.-J. & Wernz, P. (2015). Koordinationstraining für Senioren. (4.Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag. 37-47
- Schaller, H.-J. & Wernz, P. (2008). Koordinationstraining für Senioren. (2.Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag
- Scheunemann, I. (1997). Koordinationsschulung bei MS. In G. Köppe & R. Dieckmann (Hrsg.), Multiple Sklerose und Sport. Grundlagen und Handlungsorientierungen (136-151). Aachen: Meyer & Meyer Verlag, 140-141
- Schmidt, F. (2019). Objektivierung von funktionellen und strukturellen Beeinträchtigungen sensorischer Afferenzen bei neuroimmunologischen Krankheitsbildern, 4
- Schnabel, G. & Thiess, G. (1993). Lexikon Sportwissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf (Band 2). Berlin: Sportverlag, 281
- Schwenk, M. & Hauer, K. (2008). Körperliches Training bei Demenz. In: Landesstiftung Baden-Württemberg gGmbH (Hrsg.) Training bei Demenz-Dokumentation zum Kongress „Training bei Demenz“ Dezember 2008, 12-29
- Seitz, R. J. (2001). Motorisches Lernen: Untersuchungen mit der funktionellen Bildgebung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52(12), 343-349.
- Shea, C.H., Park, J.-H., Braden, H.W. (2006). Age-Related Effects in Sequential Motor Learning. *Physical Therapy*, 86(4), 478-488, <https://doi.org/10.1093/ptj/86.4.478>
- Shepard, R.J. (1997). Aging, Physical Activity, and Health. *Champaign, IL: Human Kinetics*
- Smith, C. D., Walton, A., Loveland, A. D., Umberger, G. H., Kryscio, R. J., Gash, D. M., (2005). Memories that last in old age: motor skill learning and memory preservation. *Neurobiology of Aging*, 26(6), 883–890.
<https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2004.08.014>
- Shim, J. K., Lay, B. S., Zatsiorsky, V. M., Latash, M. L. (2004). Age-related changes in finger coordination in static prehension tasks. *Journal of Applied Physiology*, 97, 213–224.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00045.2004>
- Spahn, G., Hofmann, G.O, Conrad, T., von Engelhardt, L.V., Jerosch, J. (2018). Gelenkerhaltende operative Therapiemöglichkeiten bei Arthrose. *OUP* 2018, 7, 388–395, <https://doi.org/10.3238/oup.2018.0388–0395>
- Spitzer, M. (2003). Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 13

- Voelcker-Rehage, C. & Willimczik, K. (2006). Motor plasticity in a juggling task in older adults a developmental study. *Age Ageing*, 35(4), 422–427.
<https://doi.org/10.1093/ageing/afl025>
- Voelcker-Rehage, C. (2008). Motor-skill learning in older adults – a review of studies on age-related differences. *European Review of Aging and Physical Activity*, 5, 5-16.
<https://doi.org/10.1007/s11556-008-0030-9>
- Weineck, J. (1996). Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings. *Balingen: PERIMED-spitta*.
- Weineck, J. (2004). Sportbiologie. *Balingen: Splitta Verlag & Co*, 436
- Wishart, L. R., Lee, T. D., Murdoch, J. E. & Hodges, N.J. (2000). Effects of aging on automatic and effortful processes in bimanual coordination. *Journal of Gerontology: Psychological Science*, 55B(2), 85-94. <https://doi.org/10.1093/geronb/55.2.P85>
- Wyznikiewicz-Kopp, Z. (1991). Untersuchungen zur motorischen Lernfähigkeit. In: Daus, R., Mechling, H., Blischke, K. & Olivier, N. (Hrsg.). (1989). Sportmotorisches Lernen und Techniktraining. Internationales Symposium „Motorik- und Bewegungsforschung“ in Saarbrücken (Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 77, 149-151). *Schorndorf: Verlag Karl Hofmann*.
- Yang, F., Estrada, E. F., Sanchez, M. C. (2016). Vibration training improves disability status in multiple sclerosis: A pretest-posttest pilot study. 96-101.
<https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.08.013>

12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flow Chart (Moher et al., 2009)	12
Abbildung 2: Altersspezifische Mittelwerte der fünf motorischen Kompetenzaufgaben (Leversen et al., 2012, S.3)	16
Abbildung 3: Gesamtpunkteanzahl für motorische Leistung bei den jeweiligen Altersgruppen (Leversen et al., 2012, S.4)	16
Abbildung 4: Korrelationen von "PB" und "BB" bzw. "HTW" und "W/R" bezüglich der drei Altersgruppen (Leversen et al., 2012, S.5-6)	17
Abbildung 5: Differences in the dynamic manipulation score across the age groups (Dayanidhi & Valero-Cuevas, 2014, S. 1142)	19
Abbildung 6: Resultate der Griffkraft und Drehmomente für die einzelnen Untergruppen (Shim et al., 2004, S.216)	21
Abbildung 7: Altersspezifische Zielabweichungen der bimanuellen Koordinationsleistungen (Boisgontier et al., 2018, S.114)	23
Abbildung 8: Koordinationsgenauigkeit (A) und Stabilität (B) bei jüngeren und älteren Probanden für jede Aufgabe und Frequenzbedingung (Goble et. al, 2010, S.1286)	24
Abbildung 9: Experiment 1 – Absolute durchschnittliche Fehlerperformance (Genauigkeit) und Standardabweichungen in der relativen Phase (Stabilität) (Wishart et al., 2000, S.88) ..	26
Abbildung 10: Experiment 2 - Absolute durchschnittliche Fehlerperformance (Genauigkeit) und Standardabweichung (Stabilität) in der relativen Phase (Wishart et al., 2000, S. 91)	27
Abbildung 11: Durchschnittliche Fehlerbewertung für unterschiedliche Bewegungsfrequenzen (Fujiyama et al., 2016, S.1813)	30
Abbildung 12: Durchschnittlicher FA bei jüngeren und älteren Erwachsenen (Fujiyama et al., 2016, S.1815)	31
Abbildung 14: Altersspezifischer Vergleich von "TS" mit der Summe von "PS+VS" in der jeweiligen Anpassungs- und Reduzierungsphase (Guan & Wade, 2000, S.159)	34
Abbildung 13: Altersspezifischer Vergleich von „TS“, „PS“ und „VS“ in der jeweiligen Anpassungs- und Reduzierungsphasen (Guan & Wade, 2000, S.158)	34
Abbildung 15: Durchschnittswerte der Linienlänge pro Alter bei unterschiedlichen Bedingungen (Liutsko et al., 2014, S.225)	36
Abbildung 16: Altersspezifische Reaktionszeiten (Hoff et al., 2015, S.5)	38
Abbildung 17: Hand switch costs (Hoff et al., 2015, S.6)	39
Abbildung 18: Jonglier-Performance über die Lebensspanne (Voelcker-Rehage & Willimczik, 2006, S.425)	41
Abbildung 19: Absolute durchschnittliche Antwortzeiten (Boyd et al., 2008, S.356)	43

Abbildung 20: Reduzierung der durchschnittlichen Antwortzeiten für die jeweiligen Altersgruppen (Boyd et al., 2008, S. 357)	44
Abbildung 21: Interferenztest: Einfluss der Sequenzdimensionen auf die Antwortzeiten bei unterschiedlichen Altersgruppen (Boyd et al., 2008, S.358)	44
Abbildung 22: Lernkurve über 80 absolvierte Versuche gemessen als „time on target“ (ToT) (Ghisletta et al., 2010, S.167)	47
Abbildung 23: Altersspezifischer Vergleich der Elementendauer bei wiederholenden Sequenzen (Shea et al., 2006, S.484)	49
Abbildung 24: Durchschnittliche Elementendauer des ersten (Akquisition) und zweiten Tages (Wiederholungssequenzen und Zufällige Sequenzen) (Shea et al., 2006, S.483).....	50
Abbildung 25: Durchschnittliche Performancezeit bei der vierten Aufgabe (Smith et al., 2005, S.885)	52
Abbildung 26: Altersspezifische Feinmotorikleistung bei der Doppel-S-förmigen Stange (Smith et al., 2005, S.886)	52
Abbildung 27: Altersspezifische Performanceleistung bei der ersten und zweiten Messung (A=ältere Probanden; B=jüngere Probanden) (Smith et al., 2005, S.888).....	53

13. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Studien - altersspezifische Veränderungen der Bewegungskoordination.....	13
Tabelle 2: Studien - altersspezifische Veränderungen des motorischen Lernens	14

14. Eigenständigkeitserklärung

Hiermit gebe ich die Versicherung ab, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt.

Wien, April 2021

Manuel Kasser