

Aus dem Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin
der Deutschen Sporthochschule Köln
Abteilung für Molekulare und zelluläre Sportmedizin
Geschäftsführender Leiter: Universitätsprofessor Dr. med. Wilhelm Bloch

**Der Effekt einer einmaligen akuten körperlichen
Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting
Leistung**
-
eine Metaanalyse

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Sophia Sharma
aus Köln, Deutschland

promoviert am 04. Februar 2025

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln
Druckjahr 2025

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Universitätsprofessor Dr. med. W. Bloch
2. Gutachterin: Privatdozent Dr. rer nat. M. Mollenhauer

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Herr Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Bloch, Herr Dr. Dr. Philipp Zimmer, Herr Dr. Max Oberste, Herr Dr. Florian Javelle, Herr James Bonorris

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere hatte ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen, lediglich einen Antrag gestellt. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Die in das systematische Review inkludierten Studien sind in einer von mir durchgeführten Literaturrecherche aus den Datenbanken Medline, SPORTDiscus und PsychINFO durch mich selbst selektiert und die Daten in eine Datenextraktionstabelle eingetragen worden. Die Einschätzung des Verzerrungsrisikos erfolgte unabhängig voneinander durch mich und Herrn Dr. Max Oberste, Uneinigkeiten wurden nach Konsultation von Herrn Dr. Max Oberste und Herrn Dr. Dr. Philipp Zimmer geklärt. Die statistische Datenanalyse wurde von Herrn Dr. Max Oberste und Herrn Dr. Florian Javelle mit der Software "R" durchgeführt. Die Auswertung der Analyse wurde von Herrn Dr. Max Oberste und mir selbst durchgeführt. Die dieser Arbeit zugrundeliegende Publikation wurde von Herrn Dr. Max Oberste und mir selbst mit geteilter

Erstautorenschaft verfasst. Im Falle fehlender Daten habe ich selbst oder Herr Dr. Max Oberste mit korrespondierenden Autoren kommuniziert. Die Supervision erfolgte durch Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Bloch. Alle in der Publikation aufgeführten Autoren sowie James Bonorris haben das publizierte Manuskript Korrekturgelesen. Ich selbst habe diese Dissertation eigenständig verfasst. Herr Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Bloch und Herr Dr. Dr. Philipp Zimmer haben die vorliegende Arbeit Korrekturgelesen.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 14.08.2024

Unterschrift:

Danksagung

Bedanken möchte ich mich an erster Stelle bei Herrn Prof. Dr. Wilhelm Bloch und der Deutschen Sporthochschule Köln, welche mir die Möglichkeit gegeben haben, eine wissenschaftliche Arbeit in einem Bereich verfassen zu dürfen, welcher meine beiden Leidenschaften, Sport und Medizin, vereint. Von Beginn an verspürte ich in der Arbeitsgruppe von Herrn Dr. Dr. Philipp Zimmer eine große Unterstützung und Zuspruch, vor allem die Zusammenarbeit mit Dr. Max Oberste bereicherte mich ungemein nicht nur auf wissenschaftlicher, sondern auch menschlicher Ebene. Vom ersten Gespräch an, sowohl während des Publikationsprozesses als auch danach während der Verfassung dieser Arbeit fühlte ich mich durchgehend gut und verlässlich betreut, das ist nicht selbstverständlich und dies schätze ich sehr.

Auch möchte ich mich bei der Klinik II für Innere Medizin der Uniklinik Köln bedanken, vor allem Dr. Martin Kann motivierte mich noch während meines Studiums als auch im anschließenden Berufsleben dazu mein Ziel nicht aus den Augen zu verlieren und diese Arbeit fertig zu stellen.

Von ganzem Herzen danke ich meiner Familie, meinen Eltern und meinen Geschwistern Emilio und Zoi, die mich seit meiner Kindheit auf meinem Weg begleiten und bedingungslos bei jedem Schritt unterstützen. Meine Familie ist das, wofür es sich lohnt weiterzumachen, und gleichzeitig mein perfekter Anker, wenn ich mal eine Pause davon brauche. Dafür bin ich ihnen für immer dankbar.

Mein besonderer Dank geht an meinen Ehemann Samuel Kreitz, die Liebe meines Lebens, welcher in all der Zeit immer an meiner Seite stand, für mich da war und mir immerwährend ein Lächeln aufs Gesicht zaubert.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	8
1. ZUSAMMENFASSUNG	9
2. EINLEITUNG	10
2.1. Evidenzbasierte Medizin	11
2.2. Systematisches Review	12
2.3. Körperliche Aktivität	13
2.4. Exekutive Funktionen	14
2.5. Set Shifting	15
2.6. Moderatorvariablen	16
2.6.1. Alter der Probanden und Probandinnen	16
2.6.2. Trainingsmodalität	17
2.6.3. Trainingsintensität	18
2.6.4. Art der Kontrollgruppe	18
2.7. Fragestellungen und Ziel der Arbeit	20
3. MATERIAL UND METHODEN	22
3.1. Das PRISMA Statement	22
3.2. Literaturrecherche und Suchstrategie	24
3.3. Studienselektion	24
3.4. Neuropsychologische Tests	26
3.5. Studiendesign	32
3.5.1. Randomisierte kontrollierte Studien	32
3.5.2. Crossover Studien	34
3.6. Datenextraktion	34
3.7. Bewertung der Studienqualität	36

3.8.	Analyse der Moderatorvariablen	38
3.8.1.	Alter der Probanden und Probandinnen	38
3.8.2.	Trainingsmodalität	38
3.8.3.	Trainingsintensität	39
3.8.4.	Art der Kontrollgruppe	41
3.9.	Datenanalyse	42
4.	ERGEBNISSE	43
4.1.	Selektion von Studien	43
4.2.	Studiencharakteristiken	44
4.3.	Ergebnisse der primären Metaanalyse	49
4.4.	Sensitivitätsanalyse	50
4.5.	Ergebnisse der Subgruppenanalyse	51
4.5.1.	Subgruppenanalyse für "Alter der Probanden und Probandinnen"	51
4.5.2.	Subgruppenanalyse für "Trainingsmodalität"	53
4.5.3.	Subgruppenanalyse für "Trainingsintensität"	54
4.5.4.	Subgruppenanalyse für "Art der Kontrollgruppe"	55
5.	DISKUSSION	56
6.	LITERATURVERZEICHNIS	61
7.	ANHANG	69
7.1.	Abbildungsverzeichnis	69
7.2.	Tabellenverzeichnis	69
8.	VORABVERÖFFENTLICHUNG VON ERGEBNISSEN	70

Abkürzungsverzeichnis

ACSM	American College of Sports Medicine
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses
QUOROM	Quality Of Reporting Of Meta-Analyses
EBSCO	Elton B. Stephens Company
TMT	Trail Making Test
WCST	Wisconsin Card Sorting Task
RCT	Randomized controlled trial (randomisierte, kontrollierte Studie)
ms	Millisekunde
PEdro	Physiotherapie Evidence Database
ICC	Intraclass correlation coefficient
MET	Metabolisches Äquivalent
HRmax	Heart rate maximum (maximale Herzfrequenz)
HRR	Heart rate reserve (Herzfrequenzreserve)
VO2max	Ausprägung der maximalen Sauerstoffaufnahme
RPE	Rating of perceived exertion (Bewertung der wahrgenommenen Belastung)
C	Category Skala
C-R	Category-Ratio Skala
RM	Repetition maximum (Wiederholungsmaximum)
SMD	Standardized mean difference (standardisierte Mittelwertdifferenz)
RT	Reaction time (Reaktionszeit)
CI	Confidence interval (Konfidenzintervall)
k	Anzahl der Effektgrößen
Hedges' g	Gepoolte Effektgröße
df	Freiheitsgrade
p	Signifikanzniveau

1. Zusammenfassung

Positive Effekte einer akuten körperlichen Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit inspirierten die Wissenschaft dazu die Effekte einer akuten körperlichen Aktivität auf spezifische kognitive Subdomänen zu untersuchen. Viele Studien zeigten positive Effekte einer akuten körperlichen Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung bei gesunden Erwachsenen. Set Shifting stellt eine Subdomäne der Exekutiven Funktionen dar und beinhaltet die Fähigkeit zwischen zwei verschiedenen kognitiven Sets zu wechseln. Die Ergebnisse der bestehenden Studien sind jedoch uneindeutig. Dementsprechend wurde eine Metaanalyse durchgeführt, welche die verfügbaren Effektgrößen zusammengefasst und ausgewertet hat. Zusätzlich erfolgte eine Subgruppenanalyse, um mögliche Moderatorvariablen zu identifizieren, die das Ausmaß der durch eine akute körperliche Aktivität induzierten positiven Effekte auf die Set Shifting Leistung bestimmen.

Medline, PsycINFO und SPORTDiscus wurden nach geeigneten Studien durchsucht. Die nach Hedges's g korrigierten standardisierten Mittelwertdifferenzen wurden für die Analyse genutzt. Das Random Effects Modell wurde auf die Effektgrößen angewandt. Als potenzielle Moderatorvariablen auf den Effekt einer akuten körperlichen Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung wurden das Alter der Probanden und Probandinnen, die Art der körperlichen Aktivität, die Intensität der körperlichen Aktivität und die Art der Kontrollgruppe untersucht. Zweiundzwanzig Studien mit insgesamt 1900 Probanden und Probandinnen wurden in die Analyse eingeschlossen. Alle aggregierten Effektgrößen reichten von gering bis moderat. Insgesamt wurde ein geringer signifikanter positiver Effekt festgestellt ($g = -0.32$, 95 % CI -0.45 to -0.18). Die Heterogenität der eingeschlossenen Effektgrößen war moderat und signifikant ($T^2 = 0.0715$, $I^2 = 46.4\%$, ($p < 0.0016$). Die Subgruppenanalyse zeigte einen größeren benefizienten Einfluss auf ältere Erwachsene im Vergleich zu jungen Erwachsenen (-0.42 vs. -0.29). Eine geringe Intensität der akuten körperlichen Aktivität (-0.51) führte zu größeren positiven Effekten als eine moderate (-0.24) oder hohe Intensität (-0.29). Studien, welche eine akute körperliche Aktivität mit einer aktiven Kontrollgruppe verglichen, zeigten einen wesentlich kleineren Effekt (-0.13) im Vergleich zu Studien mit einer passiven (-0.38) oder kognitiv beanspruchten Kontrollgruppe (-0.34). Interessanterweise zeigten sich keine großen Unterschiede im erzielten Effekt nach erfolgtem Krafttraining im Vergleich zu aerobem Training (-0.30 vs. -0.32). Allerdings erreichten keine der untersuchten Moderatorvariablen eine statistische Signifikanz.

Eine akute körperliche Aktivität verbessert die nachfolgende Set Shifting Leistung. Allerdings ist die Effektstärke eher gering, sodass eine Relevanz für das alltägliche Leben fraglich ist. Die Ergebnisse indizieren, dass vor allem ältere Erwachsene sich nach einer akuten körperlichen Aktivität in ihrer Leistung verbessern, aber auch junge Erwachsene, die sich auf dem Höhepunkt ihrer kognitiven Leistungsfähigkeit befinden, können von einer akuten körperlichen

Aktivität profitieren. Eine geringe Intensität zeigt die höchste Effektivität, während die Art der körperlichen Aktivität keinen Einfluss auf die Effektstärke zu haben scheint. Studien mit aktiven Kontrollgruppen zeigen den geringsten Effekt, was auf einen erwartungsgesteuerten Placebo-Effekt zurückzuführen sein könnte ¹.

2. Einleitung

In allen Lebensbereichen stellen kognitive Fähigkeiten einen essenziellen Grundpfeiler dar. Sie sind unter anderem wichtig für soziale Prozesse wie Kommunikation und Kreativität. Aber auch die Fähigkeit der Informationsverarbeitung, Entscheidungsfindung und das Lösen von Problemen setzt kognitive Fähigkeiten voraus. Insgesamt sind kognitive Fähigkeiten relevant für den Erfolg in unserem alltäglichen Leben. Umso erstrebenswerter erscheint es für den Menschen, diese kognitive Fähigkeit durch den Einfluss äußerer Faktoren optimieren zu können. Dass körperliche Aktivität einen Einfluss auf das kardiovaskuläre, das muskuloskelettale, das respiratorische, sowie viele weitere Organsysteme des menschlichen Körpers hat, wurde bereits im Jahre 1976 von Mathews und Fox im Detail beschrieben ². Diese Erkenntnisse weckten das wissenschaftliche Interesse daran herauszufinden, ob körperliche Aktivität auch kognitive Fähigkeiten beeinflussen kann ³. Obwohl der Fokus der Wissenschaft hierbei vermehrt auf langfristiger körperlicher Aktivität lag, wurden nach und nach immer mehr Studien publiziert, welche einen nachgewiesenen positiven Effekt auch bei einer einmaligen körperlichen Aktivität auf das zentrale Nervensystem zeigen konnten. Diese nachgewiesenen physiologischen Effekte einer bereits einmaligen körperlichen Aktivität auf das zentrale Nervensystem verstärkten die Neugierde darüber, ob dementsprechend auch kognitive Fähigkeiten von ihr profitieren können. So entstand schon bald eine Vielzahl an Studien mit dem Ziel, die Effekte einer einmaligen körperlichen Aktivität auf kognitive Fähigkeiten zu untersuchen. Und tatsächlich resultierten viele dieser Studien in der Feststellung eines positiven Einflusses der akuten körperlichen Aktivität auf kognitive Fähigkeiten ^{4,5}, welche durch eine Metaanalyse von Chang, Labban und Gaspin (2012) unterstützt und bestätigt werden konnte ⁶. Kognitive Fähigkeiten sind jedoch breit gefächert und stellen einen Oberbegriff für verschiedene kognitive Prozesse dar. Darunter fallen beispielsweise Aufmerksamkeit, Informationsverarbeitung, Gedächtnis und exekutive Funktion, für welche ebenfalls verbesserte Leistungen nach einer akuten aeroben sportlichen Aktivität festgestellt werden konnten ⁷⁻⁹. Diese Ergebnisse förderten das wissenschaftliche Interesse, die Folgen und Beeinflussung durch ein akutes, einmaliges körperliches Training auf spezifische kognitive Domänen intensiver zu untersuchen.

Exekutive Funktionen stellen eine solche kognitive Domäne dar. Diese sind speziell wichtig für das eigenständige und zielorientierte Ausführen von Handlungen und Aktivitäten ¹⁰. Exekutive Funktionen sind für den Menschen essenziell, da sie die Voraussetzung dafür sind, sich

schnell und erfolgreich an unerwartete, neuartige Situationen in einer variablen Umwelt anzupassen¹¹. Dementsprechend existieren dementsprechend Studien, welche sich speziell auf den Einfluss einer akuten Sportaktivität auf nachfolgende Leistungen in exekutiven Funktionen fokussieren. Die daraus entstandenen Resultate zeigen ebenfalls einen positiven Einfluss eines akuten körperlichen Trainings auf nachfolgende Leistungen in exekutiven Funktionen¹²⁻¹⁴. Doch es geht noch spezifischer, denn auch exekutive Funktionen können in verschiedene Subdomänen unterteilt werden. Womit wir nun zum aktuellen Fokus der Forschung in diesem Themenfeld angekommen wären: die Investigation des Effektes einer einmaligen körperlichen Aktivität auf die Leistung verschiedener Subdomänen exekutiver Funktionen. Set Shifting ist eine solche Subdomäne und definiert sich durch die Fähigkeit, aufgrund von neuen Umständen zwischen zwei verschiedenen mentalen Sets wechseln zu können und sich so an diese zu adaptieren¹⁵. Diese Fähigkeit ist ein wichtiger Bestandteil des Alltäglichen Lebens und eine Grundlage für Erfolge in allen Lebensbereichen, je ausgeprägter und schneller die Set Shifting Leistung, desto effizienter. Somit stellt die Set Shifting Leistung eine Zielgröße vieler Studien dar, die sich der spezifischeren Fragestellung widmeten, ob eine akute körperliche Aktivität auch die nachfolgende Set Shifting Leistung positiv beeinflussen kann. Jedoch sind die daraus entstandenen Resultate uneindeutig. Während aus mehreren Studien positive Effekte resultieren¹⁶⁻¹⁸, existieren Studien, welche keinen Zusammenhang¹⁹, oder gar einen negativen Einfluss²⁰ eines einmaligen Trainings auf nachfolgende Set Shifting Leistungen festgestellt haben.

Somit wird das Durchführen einer Metaanalyse zu einem wertvollen Verfahren, um in der Frage, inwieweit eine akute körperliche Aktivität einen Effekt auf eine nachfolgende Set Shifting Leistung hat, Klarheit zu schaffen. In dieser Arbeit wird eine Metaanalyse mit genau dieser Fragestellung durchgeführt. Um auch der Ursache für die Diskrepanz der bisherigen Ergebnisse auf den Grund zu gehen und diese möglicherweise erklären zu können, soll zusätzlich eine Subgruppenanalyse weitere Erkenntnisse darüber erbringen, inwiefern vielversprechende Faktoren den identifizierten Effekt beeinflussen können. Als bedeutsame Moderatorvariablen werden in dieser Arbeit das Alter der Probanden und Probandinnen, die Art der körperlichen Aktivität, die Intensität der körperlichen Aktivität, sowie die Art der Kontrollgruppe untersucht.

2.1. Evidenzbasierte Medizin

Der Hippokratische Eid fungiert seit mehr als 2000 Jahren als ethische Grundlage des ärztlichen Handelns und bildet die Basis für zentrale Werte der Medizin²¹. Das Original wurde in griechischer Sprache verfasst, es existieren diverse deutschsprachige Übersetzungen. Nach der Übersetzung von Herrn Walter Müri liest sich der nachfolgend dargestellte, insgesamt dritte Absatz des Eides wie folgt.

“Διαιτήμασί τε χρήσομαι ἐπ’ ὠφελείῃ καμνόντων κατὰ δύναμιν καὶ κρίσιν ἐμὴν, ἐπὶ δηλήσει δὲ καὶ ἀδικίῃ εἴρξαι”

Ausschnitt aus dem griechischen Original

“ Meine Verordnungen werde ich treffen zu Nutz und Frommen der Kranken, nach bestem Vermögen und Urteil; ich werde sie bewahren vor Schaden und willkürlichem Unrecht.“

Deutsche Übersetzung nach Walter Müri ²²

Damit ein Arzt oder Ärztin seinen oder ihren Patienten und Patientinnen die bestmögliche Behandlung zukommen lassen kann, ist es von bedeutender Wichtigkeit, sich zusätzlich zu seinem persönlichen Erfahrungsschatz und seiner eigenen Einschätzung auf den Gegenstand der aktuellen Forschungsergebnisse zu berufen.

Das Ziel der Evidenzbasierten Medizin ist es, medizinische Entscheidungen basierend auf den aktuell besten verfügbaren Daten im Sinne der Patienten und Patientinnen zu treffen ²³. Heutzutage stehen hierfür den Ärzten und Ärztinnen Leitlinien zur Verfügung, welche die aktuellsten Daten und Ergebnisse multipler Studien und systematischer Übersichtsarbeiten (Reviews) zu einer Handlungsempfehlung zusammenfassen. Auf diese greifen Ärzte und Ärztinnen alltäglich zurück, um die medizinische Versorgung ihrer Patienten und Patientinnen zu verbessern und nach bestem Vermögen und Wissen handeln zu können, was die Wichtigkeit von evidenzbasierter Medizin, Forschung, Studien und Systematischen Reviews unterstreicht.

2.2. Systematisches Review

Innerhalb kürzester Zeit kann es in der Wissenschaft zu einer großen Zunahme an neuen Erkenntnissen und Publikationen kommen, sodass es schwierig werden kann, auf dem neuesten Stand zu bleiben und den Überblick zu behalten. Übersichtsarbeiten (Reviews) fassen diese Ergebnisse zusammen und ermöglichen eine Einsicht in zu einem Thema gesammeltem und ausgewertetem Wissen.

Man unterscheidet narrative von systematischen Übersichtsarbeiten. In narrativen Reviews ist die Fragestellung oft breit angelegt und die Auswahl der Studien und Literatur selektiv und nicht systematisch. Das macht narrative Reviews anfällig für Verzerrung (Bias). Systematische Reviews versuchen anhand einer präzise formulierten Fragestellung, einer systematischen Literaturrecherche nach vordefinierten Kriterien und einheitlicher Qualitätsbewertung der

Studien einer Verzerrung entgegenzuwirken. Liegt eine ausreichende Homogenität innerhalb der selektierten Studien vor, kann zusätzlich eine quantitative Synthese der Ergebnisse mittels einer Metaanalyse erfolgen, welche diese statistisch aufarbeitet und eine komplexe Mittelwertbildung der Ergebnisse ermöglicht ²³.

2.3. Körperliche Aktivität

Die körperliche Aktivität wird definiert durch jede durch die Skelettmuskulatur erzeugte Bewegung, die den Energieverbrauch substantiell ansteigen lässt ²⁴. Durch regelmäßiges Training entstehen auf lange Zeit gesehen diverse Auswirkungen auf verschiedene Organsysteme, außerdem erhöht sich durch eine reduzierte Mortalität die Lebenserwartung ²⁵. Aber auch eine einmalige, akute körperliche Aktivität beeinflusst unseren Körper und hat akute Reaktionen zur Folge. Denn der aktive Prozess der Muskelkontraktion benötigt Energie, welche durch die Spaltung von Adenosintriphosphat (ATP) zu Adenosindiphosphat (ADP) und einem Phosphatrest bereitgestellt wird ²⁵. Da ATP allerdings nur für eine geringe Anzahl an Muskelkontraktionen zur Verfügung steht muss dieses dauerhaft resynthetisiert werden. Dies geschieht entweder durch einen aeroben oder anaeroben Weg. Zur aeroben Resynthese wird Sauerstoff benötigt, sodass im Rahmen einer körperlichen Aktivität eine gesteigerte Anflutung von Sauerstoff erforderlich wird. Parallel fallen vermehrt Stoffwechselprodukte an, welche aus dem Körper eliminiert werden müssen. Um beides in beschleunigter Geschwindigkeit gewährleisten zu können, muss das Herzminutenvolumen gesteigert werden. Das Herzminutenvolumen setzt sich aus der Herzfrequenz und dem Schlagvolumen zusammen, welche beide als Stellschraube zur Steigerung des Herzzeitvolumens genutzt werden können. Während einer körperlichen Aktivität kann das Herzzeitvolumen durch einen ca. dreifachen Anstieg der Herzfrequenz und bis zu zweifachem Anstieg des Schlagvolumens auf das vier- bis sechsfache gesteigert werden ²⁵. Die muskuläre Aktivität steigert den venösen Rückstrom und somit die Vorlast des Herzens. Das entsprechend erhöhte diastolische Füllvolumen führt über den sogenannten Frank Starling Mechanismus zu einer erhöhten Kontraktilität und einem somit erhöhten Schlagvolumen im Herzen ²⁵. Auch kommt es im Rahmen einer akuten körperlichen Aktivität zu einer Steigerung der Atemfrequenz und einem erhöhten Atemvolumen, was zu einer vermehrten Sauerstoffaufnahme und gesteigerten Abatmung von CO₂ führt. Übersteigt der Sauerstoffverbrauch im Rahmen der aeroben Energiebereitstellung den Sauerstoffbedarf der Muskulatur, wird kurzzeitig die benötigte Energie über den anaeroben Pfad unter Akkumulation von Laktat bereitgestellt.

Auch auf das neurologische System hat eine akute körperliche Aktivität einen Einfluss. Durch die körperliche Aktivität wird die Oxygenierung im präfrontalen Kortex gesteigert ²⁶, sie erhöht die Neutrophin ²⁷ und Katecholamin ²⁸ Expression und führt zu einer beschleunigten kortikalen

Aktivierung ²⁹. Außerdem sorgt sie für eine verbesserte Metabolisierung in zerebralen Neuronen ³⁰.

2.4. Exekutive Funktionen

Als exekutive Funktionen werden kognitive Prozesse bezeichnet, die flexibel Subprozesse koordinieren, kontrollieren und steuern, um ein übergeordnetes Ziel zu erreichen ¹¹ und eine flexible Anpassung an neuartige und komplexe Aufgabensituationen zu ermöglichen ^{31,32}. Laut Lezak (2004) sind dies Operationen, welche dazu erfordert werden, eigenständig und zielorientiert Aktivitäten und Handlungen ausführen zu können. Diese bestehen hauptsächlich aus Verhaltenskomponenten, die Organisation, Aufrechterhaltung, Modulation und Kontrolle von Verhalten erlauben ¹⁰. Außerdem benötigt werden dafür die Fähigkeit des Problemlösens, Ablenkungen widerstehen zu können und die Kontrolle über die Handlung nicht zu verlieren, welche ebenfalls Bestandteile exekutiver Funktionen darstellen ^{33,34}. Die Kernfunktion exekutiver Prozesse liegt darin, neue Lösungen für bisher unbekannte Probleme zu generieren, und das eigene Verhalten basierend auf veränderte Umweltbedingungen zu modulieren und zu modifizieren ¹¹. Hinzu kommt die Fähigkeit der Sequenzierung komplexen Verhaltens und zielorientierte Strategien zu entwickeln ¹¹. Exekutive Funktionen sind für den Menschen essenziell, da sie die Voraussetzung dafür sind, sich schnell und erfolgreich an unerwartete, neuartige Situationen in einer variablen Umwelt anzupassen ¹¹. Auch In vielen Aspekten des alltäglichen Lebens haben sie eine große Relevanz, beispielsweise für die mentale und physische Gesundheit ^{35,36}, schulischen Erfolg sowie den der weiteren Laufbahn ^{37,38} und für die soziale, kognitive und psychische Entwicklung ³⁹.

Exekutive Funktionen sind ein sehr komplexes und heterogenes Konzept ¹¹. Sie setzen sich aus diversen Subdomänen zusammen, zwischen welchen zur spezifischeren Erforschung exekutiver Funktionen differenziert werden kann. Zu diesen Subdomänen gehören Antizipation, Planungsprozesse, Entscheidungsfindung, Arbeitsgedächtnis, Inhibitionsprozesse, kognitive Überwachungstätigkeiten, und kognitive Flexibilität ^{11,40,41}. Kognitive Flexibilität beinhaltet die Fähigkeit, das Denken und Handeln so zu variieren, um eine Adaptation an veränderte Umweltbedingungen zu ermöglichen und um diese situationsangemessen wahrnehmen, verarbeiten und auf sie reagieren zu können ¹¹. Dadurch ist der Mensch dazu in der Lage, Langzeitziele trotz sich verändernden Umständen zu erreichen. Außerdem ist die kognitive Flexibilität ein zentraler Bestandteil des adaptiven, menschlichen Verhaltens ¹¹.

Der Begriff "Set Shifting", welcher den wesentlichen Hauptbestandteil dieser Arbeit darstellt, wird in der angloamerikanischen Fachliteratur für die Form der reaktiven kognitiven Flexibilität verwendet ¹¹.

2.5. Set Shifting

Set Shifting beschreibt die Fähigkeit, Reaktionen, Verhalten und Kognitionen aufgrund von äußeren Umständen, Reizen oder Bedingungen umzustellen^{42,43}. Dies gelingt durch einen Aufmerksamkeitswechsel von einem Reiz zum anderen, und der Fähigkeit diesen neuen Stimulus durch ein neues kognitives Set zu charakterisieren und zwischen den beiden neuen mentalen Sets schnell und effizient hin und her wechseln zu können^{41,44}. Dadurch unterstützt Set Shifting Prozesse des Problemlösens⁴⁵ und ist ebenfalls ein Faktor hinsichtlich sozialer Kompetenz⁴⁶.

Rekonfiguration und das Wechseln zwischen zwei verschiedenen Aufgaben sind in unserem Leben alltäglich. Sei es, einen Anruf entgegenzunehmen, während man Zeitung liest, oder beim Autofahren kurz dem schreienden Kind auf dem Beifahrersitz eine Rassel in die Hand zu drücken. Auf den ersten Blick scheinen wir mit dem Wechsel der Aufmerksamkeit zwischen zwei verschiedenen Aufgaben gut zurechtzukommen. Doch bei Aufgaben mit einem höheren Anforderungsprofil und gesteigerten Ansprüchen fällt auf, dass es eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, den Wechsel zwischen zwei verschiedenen Aufgaben durchzuführen. Beispielsweise, einen beruflichen Anruf entgegenzunehmen, während man gerade an einer komplizierten Rechenaufgabe gesessen hat. Es wird etwas Zeit kosten, sich nach dem Telefonat erneut der Rechnung so widmen zu können, wie es vor dem Telefonat der Fall gewesen war. Diese gewisse Zeitspanne, die benötigt wird, zwischen zwei verschiedenen Aufgaben hin und her zu wechseln, wurde erstmals im Jahre 1927 von Jersild erkannt und als "switch cost" beschrieben⁴⁷. Er führte ein Experiment mit zwei verschiedenen Durchläufen durch. Im Ersten Durchlauf wurden Probanden und Probandinnen dazu aufgefordert, wiederholt eine bestimmte, gleichbleibende Aufgabe zu lösen, beispielsweise eine Reihe Ziffern aufzuaddieren. Die Zeit bis zur Beendigung der Aufgabe wurde gemessen. In einem weiteren Durchlauf sollten Probanden und Probandinnen im Wechsel eine Ziffer addieren, und die nächste subtrahieren. Hier wurde ebenfalls die Zeit gemessen und Jersild stellte fest, dass der Durchlauf, in dem die Probanden und Probandinnen zwischen den zwei verschiedenen Aufgaben wechseln sollten, mehr Zeit in Anspruch genommen hat. Die Existenz dieser "switch cost" weckte Interesse und wurde Bestandteil weiterer Forschung⁴⁸. Im weiteren Verlauf entwickelte sich die Fragestellung, ob und wie diese "switch cost" reduziert werden konnte. Eine Bestätigung dieser Hypothese würde die erstrebenswerte Möglichkeit eröffnen, sich durch eine reduzierte "switch cost" im Alltag oder bei Tätigkeiten mit einem hohen Anforderungsprofil einen Vorteil zu verschaffen. Ein Ansatz bestand in der Hypothese, dass genügend Vorbereitungszeit auf die folgende Set Shifting Aufgabe die "switch cost" verringern könnte. Zahlreiche Studien befassten sich mit dieser Hypothese und konnten tatsächlich eine reduzierte "switch cost" nach einer gewissen Vorbereitungszeit nachweisen, jedoch nie einen gänzlichen Verlust dieser⁴⁹⁻⁵³. Im Alltag kann man sich jedoch nicht auf jede unerwartete

Änderung der Umweltbedingungen und Anforderungen adäquat einstellen, da Set Shifting besonders in unvorbereiteten Situationen und plötzlich auftretenden Aufgaben benötigt wird. Somit musste man einen modifizierenden Faktor identifizieren, welcher unabhängig von der Art der neu auftretenden Aufgabe ist, sondern die Fähigkeit des Set Shifting unabhängig positiv beeinflussen kann. Da bereits der benefiziente Einfluss einer akuten sportlichen Aktivität auf kognitive Fähigkeiten generell ^{4,6,54} und sogar spezifisch auf exekutive Funktionen gezeigt werden konnte ¹²⁻¹⁴, begannen zahlreiche Studien den Effekt einer einmaligen sportlichen Aktivität auf nachfolgende Set Shifting Leistungen zu untersuchen, in der Erwartung auch hier positive Resultate einfahren zu können. Aus diesen Studien resultierten jedoch widersprüchliche Ergebnisse. Zwar konnten viele Studien einen positiven Effekt zeigen ¹⁶⁻¹⁸, andere jedoch konnten keinen Zusammenhang ¹⁹, oder sogar einen negativen Einfluss ²⁰ einer einmaligen körperlichen Aktivität auf nachfolgende Set Shifting Leistungen feststellen. Um diese Diskrepanz und womöglich auch ihre Ursache ergründen zu können, wurde im Rahmen der zugrunde liegenden Metaanalyse zusätzlich eine Subgruppenanalyse mit vielversprechenden Moderatorvariablen durchgeführt.

2.6. Moderatorvariablen

2.6.1. Alter der Probanden und Probandinnen

Inwiefern das Alter einen moderierenden Einfluss auf den Effekt einer einmaligen körperlichen Aktivität auf Kognition hat, ist bis heute noch nicht endgültig verstanden. Es existieren jedoch Studien und Metaanalysen, welche sich diese Fragestellung zum Ziel gesetzt haben und die Wissenschaft Stück für Stück in diesem Gebiet bereichert haben.

Eine Metaanalyse von Chang et al. (2012) konnte einen moderierenden Effekt des Alters auf die Kognition von Probanden und Probandinnen zeigen ⁶. Aus vorherigen Studien ist bekannt, dass auch die Leistung spezifisch der exekutiven Funktionen in verschiedenen Altersklassen unterschiedlich ausgeprägt ist. Während sie sich von der Kindheit bis ins jugendliche Alter hin stetig steigert ⁵⁵, nimmt sie ab dem Übergang vom jungen Erwachsenenalter ins Höhere immer weiter ab ⁵⁶. Diese Entwicklung exekutiver Funktionen im Laufe der Lebenszeit bildet graphisch betrachtet eine invertierte U-Kurve ⁵⁷⁻⁵⁹, welche schlechtere Leistungen in der Kindheit und dem höheren Erwachsenenalter verglichen zum jungen Erwachsenenalter indiziert.

Nachfolgende Studien untersuchten den Einfluss körperlichen Trainings auf kognitive Funktionen und stellten fest, dass Probanden und Probandinnen mit grundsätzlich niedrigeren Leistungen exekutiver Funktionen durch eine akute sportliche Aktivität die höchste Steigerung erwarten können ^{60,61}. Werden diese Resultate auf die vorangegangene Hypothese der invertierten U-Kurve angewandt ergibt sich die Schlussfolgerung, dass Kinder und ältere Erwachsene mit eher weniger gut ausgeprägten exekutiven Funktionen am meisten von einer einmaligen körperlichen Aktivität bezüglich jener profitieren würden. Dass demnach junge

Erwachsene ihre Leistung durch Sport nicht signifikant steigern können, ist möglicherweise das Ergebnis eines Deckeneffektes der Messwerte, da ihre Leistung oft bereits über 90% akkurat ist ⁶²⁻⁶⁶.

Im Hinblick auf diese Überlegungen stellte sich die Frage, ob das Alter der Probanden und Probandinnen einen analogen Einfluss speziell auf die Subdomänen exekutiver Funktionen hat, oder ob es innerhalb derer unterschiedliche Auswirkungen einer akuten sportlichen Aktivität gibt. Beispielsweise lieferte eine Studie von Pontifex (2009) das konträre Resultat, in dem nur junge Erwachsene von einer akuten, aeroben Aktivität hinsichtlich ihrer Leistungen in der Subdomäne des Arbeitsgedächtnisses profitieren ⁸.

Um in dieser Fragestellung mehr Klarheit schaffen zu können, besteht ein Ziel dieser Arbeit darin zu untersuchen, inwiefern das Alter der Probanden und Probandinnen für den Einfluss einer akuten sportlichen Aktivität auf nachfolgende Set Shifting Leistungen relevant ist. Hierfür wurde eine Subgruppenanalyse durchgeführt, in welcher zwischen jungen Erwachsenen (Alter von 18 bis 34 Jahren) und älteren Erwachsenen (Alter ab 35 Jahren) differenziert wurde ⁶⁷.

2.6.2. Trainingsmodalität

Um den Einfluss einer einmaligen sportlichen Aktivität auf nachfolgende Set Shifting Leistungen differenzierter untersuchen zu können, stellt die Art der Aktivität einen wertvollen Faktor dar. Körperliche Aktivitäten lassen sich in aerobes Training und in Krafttraining unterscheiden. Nach den ACSM-Richtlinien wird aerobe Aktivität durch die rhythmische, kontinuierliche Nutzung mehrerer Muskelgruppen definiert ⁶⁸. Darunter fallen beispielsweise Aktivitäten wie Joggen, Laufen, Tanzen oder Fahrrad fahren. Die Definition für Krafttraining liegt in der Verwendung von freien Gewichten, Gewichten an Trainingsgeräten oder auch Widerstandsbändern ⁶⁸.

Während viele Studien und Metaanalysen einen benefizienten Einfluss von aerobem Training auf die Subdomänen Inhibition, Arbeitsgedächtnis und Set Shifting zeigen konnten ^{69,70}, stand die Ermittlung, inwiefern Krafttraining die Subdomänen exekutiver Funktionen beeinflusst, weniger im Fokus der Wissenschaft. Jedoch existieren einige wenige Studien, welche den Einfluss beider Trainingsmodalitäten auf exekutive Funktionen investigiert haben und der Meinung sind, dass die Art der körperlichen Aktivität durchaus einen moderierenden Einfluss auch auf die verschiedenen Subdomänen exekutiver Funktionen haben könnte ^{8,71}. Dies motivierte nachfolgende Studien dazu, den Effekt beider Trainingsmodalitäten auf spezifische Subdomänen untersuchten. Es stellten sich ähnliche Effekte von aerobem und Krafttraining auf Inhibitionsprozesse bei mittelalten Frauen, ⁷¹ jungen Erwachsenen, ⁷² sowie älteren Erwachsenen ⁷³ heraus. Pontifex (2009) legte den Fokus auf das Arbeitsgedächtnis und konnte hier größere Effekte von aerobem Training verglichen zu Krafttraining bei jungen Erwachsenen zeigen ⁸.

Die beschränkte Anzahl an Arbeiten, die sich den Einfluss von aerobem und Krafttraining hinsichtlich nachfolgender Set Shifting Leistung zum Ziel setzten, begründet die Motivation dieser Arbeit, jenen Einfluss zu untersuchen.

2.6.3. Trainingsintensität

Bisherige Ergebnisse konnten zeigen, dass das Ausmaß, inwieweit körperliches Training nachfolgende kognitive Fähigkeiten beeinflusst, maßgeblich durch die Intensität des Trainings moduliert werden kann ⁷⁴. Analog zum Alter der Probanden und Probandinnen wird auch der Trainingsintensität unterstellt, kognitive Leistungen in Form einer invertierten U-Kurve zu beeinflussen ⁷⁵⁻⁷⁹. Diese Theorie impliziert die größten Verbesserungen kognitiver Leistungen bei moderater Trainingsintensität, während das Ausmaß der Vorteile durch eine leichte oder hohe Intensität an Größe verliert. Diese Hypothese wird durch eine Metaanalyse von McMorris und Hale (2012) in ihren Annahmen bestätigt ⁸⁰.

Studien, die mehr als nur eine Intensität investigierten, zeigten in ihren Resultaten ebenfalls die größte Zunahme bei moderater Intensität auch spezifisch für exekutive Funktionen ^{54,63,81,82}. Studien, welche die Wirkung nur einer bestimmten Trainingsintensität auf exekutive Funktionen untersuchten, resultieren in widersprüchlichen Ergebnissen ⁸³⁻⁸⁵.

Einen Grund für diese gegensätzlichen Resultate hinsichtlich exekutiver Funktionen könnten die ebenfalls unterschiedlichen Forschungsergebnisse für ihre Subdomänen darstellen. Alves (2014) zeigte verbesserte Leistungen in Inhibitionsprozessen nach einem hoch intensiven Intervalltraining, jedoch keine Veränderungen für das Arbeitsgedächtnis ⁸³. Während Cordova, Silva, Moraes, Simoes, und Nobrega (2009) eine verbesserte kognitive Flexibilität bei moderater Trainingsintensität beschrieben ⁸¹, konnten Loprinzi und Kane (2015) keinen Effekt eines aeroben Trainings weder leichter, moderater oder hoher Intensität auf kognitive Flexibilität feststellen ⁸⁶.

Diese vielen unterschiedlichen Resultate die Trainingsintensität betreffend machen es umso wahrscheinlicher, dass diese einen moderierenden Faktor bezüglich nachfolgender Set Shifting Leistungen darstellen könnte. Daher ist es umso wichtiger, diesbezüglich Klarheit zu schaffen. Die zugrunde liegende Metaanalyse hat es sich zum Ziel gesetzt, diese Diskrepanz spezifisch für Set Shifting Prozesse durch eine Subgruppenanalyse aufzulösen. Hierbei wurde eine leichte, moderate oder hohe Trainingsintensität differenziert.

2.6.4. Art der Kontrollgruppe

Trotz der stets wachsenden Zahl an untersuchenden Studien in dem Gebiet, ist es dennoch ungeklärt, welche Art von Kontrollgruppe die Geeignetste für körperliche Aktivität darstellt. Anders als in pharmakologischen Studien, in denen Probanden und Probandinnen nicht zwischen Medikament und Placebo differenzieren können, sind sie sich in Studien, in denen

Effekte physischer Aktivität investigiert werden, den körperlichen Anforderungen, welchen sie ausgesetzt werden, bewusst. Dies bringt zusätzliche Faktoren wie Erwartungshaltung und Motivation mit sich. Es ist in jenen Studien sehr wichtig zu berücksichtigen, inwieweit die Erwartungshaltung und Motivation der Probanden und Probandinnen die ermittelten Resultate mit beeinflusst haben könnten^{87,88}. Sollten Probanden und Probandinnen ein erwünschtes Ergebnis der Studie vor Augen haben, wäre es möglich, dass sie unbewusst ihr Verhalten ändern, um dieser Hypothese gerecht zu werden⁸⁹. Die zugrunde liegende Metaanalyse ist auf drei verschiedene Arten von Kontrollgruppen gerichtet, welche jeweils verschiedene geistige und körperliche Anforderungen besitzen, um mögliche Schlüsse hinsichtlich Erwartung und Motivation ziehen zu können und inwiefern diese das Ausmaß der Effekte eines einmaligen körperlichen Trainings auf Set Shifting Leistungen beeinflussen können. Unterschieden wurden nach Pontifex` Beispiel⁶⁷ folgende drei Gruppen: Passive Kontrollgruppen, kognitiv beanspruchte Kontrollgruppen und aktive Kontrollgruppen.

Eine passive Kontrollgruppe wird weder kognitiv noch körperlich beansprucht. Sie verbringt die vorgeschriebene Zeit schlicht sitzend, ohne Kontakt zu anderen Probanden und Probandinnen oder Studienleitern. Dadurch stellt sie von einem rein physischen Standpunkt aus gesehen das genaue Gegenteil körperlicher Aktivität dar.

Eine kognitiv beanspruchte Kontrollgruppe führt in der vorgeschriebenen Zeit kognitiv stimulierende Aktivitäten durch. Beispielsweise lesen sie ein Buch, schauen sich ein Video oder einen Film an, spielen Videospiele oder sprechen mit anderen Probanden und Probandinnen. Diese Art von Kontrollgruppe ist am ehesten mit einem Zustand, wie er in unserem Alltag auftritt, vergleichbar, und könnte sich daher ebenfalls als geeignet herausstellen.

Eine aktive Kontrollgruppe ist zwar körperlich aktiv, aber in einem so geringen Ausmaß, dass sich weder die Herzfrequenz noch der Sauerstoffbedarf signifikant erhöhen. Mögliche Übungen sind diverse Dehnübungen, einfaches Gehen oder Fahrrad fahren ohne Widerstand. Hierbei ist am ehesten gewährleistet, dass Probanden und Probandinnen sich nicht darüber im Klaren sind, ob sie der experimentellen oder der Kontrollgruppe angehören. Dies könnte ebenfalls die Erwartungen und Motivation der Probanden und Probandinnen beeinflussen und möglicherweise zu einem Placebo Effekt führen.

In seiner Arbeit beschreibt Pontifex eine zusätzliche vierte Art von Kontrollgruppe, die "Baseline" Kontrollgruppe. Hierbei werden die Ergebnisse der Probanden und Probandinnen der experimentellen Gruppe mit ihren eigenen Basis-Werten, welche ohne jegliche Art von Intervention an einem anderen Tag, oder am selben Tag vor der experimentellen Intervention erfasst wurden, miteinander verglichen. Jedoch sollte diese Art von Kontrollgruppe laut Pontifex in zukünftiger Forschung vermieden werden. Diese Behauptung unterstützt er mit dem Argument, dass die für eine Aufgabe erbrachte Leistung nie stabil und von vielen Faktoren

wie der Tageszeit, Schlaf oder möglichem Koffeinkonsum abhängig ist. Außerdem würde sich die Leistung schon allein durch einen gewissen Lerneffekt durch das Wiederholen von Aufgaben im experimentellen Durchgang verbessern. Aufgrund dieser Argumente beschreibt Pontifex eine Baseline Kontrollgruppe als “fundamentalen Designfehler“, wenn es darum geht, sie als Kontrolle für körperliche Aktivität und ihre Effekte zu verwenden⁶⁷. Basierend auf diesen

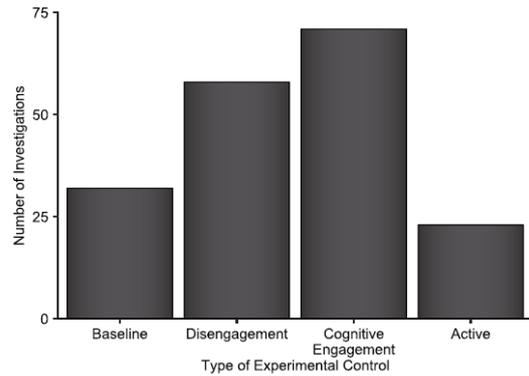


Abbildung 1. Übersicht der in der Literatur verwendeten Kontrollbedingungen⁶⁷

Aussagen wurden Studien mit Baseline Kontrollgruppe nicht in die zugrunde liegende Metaanalyse inkludiert und somit nicht weiter in dieser Arbeit thematisiert.

Von den drei zuvor beschriebenen und als geeignet bewerteten Kontrollgruppen repräsentieren die passiven und kognitiv beanspruchten Kontrollgruppen mit einem Anteil von 75% die in der Literatur am häufigsten genutzten Kontrollgruppen, während nur ca. 13% aller Studien aktive Kontrollgruppen in ihren Studien verwenden⁶⁷. Eine Übersicht der in der Literatur verwendeten Kontrollbedingungen zeigt Abbildung 1. Die zugrunde liegende Metaanalyse vergleicht in einer Subgruppenanalyse die Leistungen dieser drei Kontrollgruppen im Verhältnis zu den dazugehörigen experimentellen Gruppen, um eine mögliche Aussage darüber treffen zu können, inwiefern das Ausmaß des Effektes von akuter körperlicher Aktivität auf Set Shifting Leistungen mit der Art der gewählten Kontrollgruppe zusammenhängt.

2.7. Fragestellungen und Ziel der Arbeit

Exekutive Funktionen spielen eine große und wichtige Rolle in unserem Alltäglichen Leben. Dementsprechend ist es wünschenswert, wenn wir dazu in der Lage wären, diese kognitiven Leistungen in bestimmten Situationen zu steigern. Dafür ist es wichtig zu verstehen, auf welche Weise wir diese Leistungssteigerung bewerkstelligen könnten, und ob es Faktoren gibt, welche diese modifizieren.

Um jedoch ein tiefergreifenderes Verständnis über das Gesamtkonstrukt exekutiver Funktionen erlangen zu können, brauchen wir mehr Wissen über die einzelnen Subdomänen, aus denen sich exekutive Funktionen zusammensetzen^{69,90}. Während sich der wesentliche Großteil bisheriger Studien und Metaanalysen auf die Subdomäne der Inhibition fokussiert hat^{12,69,91}, erhielten andere Subdomänen wie das Arbeitsgedächtnis oder Set Shifting (kognitive Flexibilität) weniger Aufmerksamkeit bei der Erforschung in diesem Gebiet^{67,69,92}. Eine Übersicht der Anzahl der Studien, welche sich den jeweiligen Subgruppen von Kognition

gewidmet haben, ist in Abbildung 2 dargestellt. Eine detailliertere Übersicht über die Anzahl der Studien, welche sich auf die jeweiligen Subgruppen Exekutiver Funktionen fokussiert zeigt Abbildung 3.

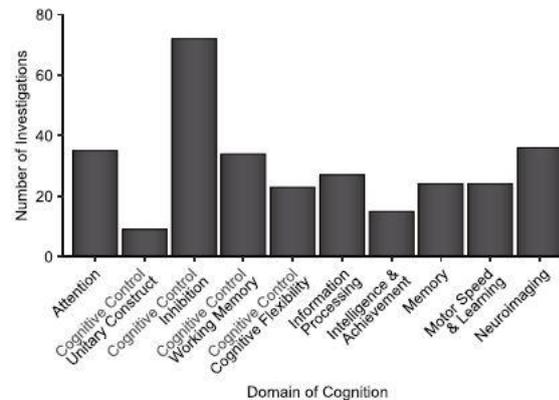


Abbildung 2. Übersicht der Anzahl an Studien, welche Subgruppen der Kognition untersuchten ⁶⁷

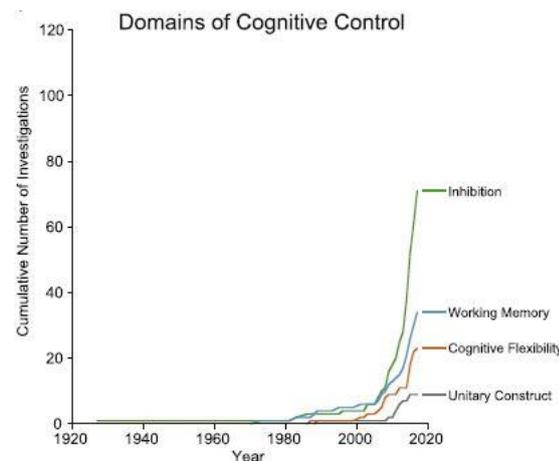


Abbildung 3. Übersicht der Anzahl an Studien, welche Subgruppen der Exekutiven Funktionen untersuchten ⁶⁷

Diese Arbeit legt ihren Fokus auf die Subdomäne Set Shifting. Es wurde eine Metaanalyse durchgeführt, mit dem Ziel, den Effekt einer einmaligen körperlichen Aktivität auf nachfolgende Set Shifting Leistungen zu untersuchen. Außerdem sollte eine Subgruppenanalyse darüber Aufschluss geben, inwieweit gewisse Faktoren diesen Effekt modulieren können. Diese Arbeit soll ihren Beitrag dazu leisten, das komplexe Konstrukt exekutiver Funktionen besser verstehen zu können. Zusätzlich soll sie Aufschluss darüber geben, ob und wie wir unsere Set Shifting Leistung akut verbessern können, was besonders in Situationen mit hohen Ansprüchen an diese sehr von Nutzen wäre.

Hieraus ergeben sich folgende Fragestellungen: Hat eine einmalige, akute körperliche Aktivität einen Effekt auf nachfolgende Set Shifting Leistungen bei gesunden Erwachsenen? Welche Faktoren können diesen Einfluss modulieren?

3. Material und Methoden

3.1. Das PRISMA-Statement

Dieses systematische Review orientiert sich an dem PRISMA-Statement. PRISMA steht für „Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses“ und stellt eine überarbeitete Version des QUOROM-Statements („Quality Of Reporting Of Meta-Analyses“) aus dem Jahre 1996 dar ⁹³. Der neue Begriff PRISMA beinhaltet zusätzlich zu Metaanalysen auch systematische Übersichten, sodass das Anwendungsgebiet für das Statement auch auf diese erweitert werden konnte. Das PRISMA-Statement besteht aus einer Checkliste mit 27 Punkten und einem charakteristischen Flussdiagramm ⁹⁴. Es soll als Unterstützung sowohl für Metaanalysen als auch für systematische Übersichten dienen und das Berichten sowie kritische Bewerten jener verbessern ⁹³. Hierdurch ergibt sich bei der Literaturrecherche eine Orientierung an klar definierten Kriterien, sodass diese systematisch und basierend auf Relevanz durchgeführt werden kann. Der Schwerpunkt liegt auf randomisierten Studien, wobei das PRISMA-Statement auch für andere Studiendesigns verwendet werden kann ⁹³. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht aller 27 Bestandteile des PRISMA-Statements. Das dieser Metaanalyse zugehörige PRISMA-Flussdiagramm wird im Ergebnisteil dieser Arbeit gezeigt.

Section/Topic	#	Checklist Item	Reported on Page #
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review, meta-analysis, or both.	
ABSTRACT			
Structured summary	2	Provide a structured summary including, as applicable: background; objectives; data sources; study eligibility criteria, participants, and interventions; study appraisal and synthesis methods; results; limitations; conclusions and implications of key findings; systematic review registration number.	
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of what is already known.	
Objectives	4	Provide an explicit statement of questions being addressed with reference to participants, interventions, comparisons, outcomes, and study design (PICOS).	
METHODS			
Protocol and registration	5	Indicate if a review protocol exists, if and where it can be accessed (e.g., Web address), and, if available, provide registration information including registration number.	
Eligibility criteria	6	Specify study characteristics (e.g., PICOS, length of follow-up) and report characteristics (e.g., years considered, language, publication status) used as criteria for eligibility, giving rationale.	
Information sources	7	Describe all information sources (e.g., databases with dates of coverage, contact with study authors to identify additional studies) in the search and date last searched.	
Search	8	Present full electronic search strategy for at least one database, including any limits used, such that it could be repeated.	
Study selection	9	State the process for selecting studies (i.e., screening, eligibility, included in systematic review, and, if applicable, included in the meta-analysis).	
Data collection process	10	Describe method of data extraction from reports (e.g., piloted forms, independently, in duplicate) and any processes for obtaining and confirming data from investigators.	
Data items	11	List and define all variables for which data were sought (e.g., PICOS, funding sources) and any assumptions and simplifications made.	
Risk of bias in individual studies	12	Describe methods used for assessing risk of bias of individual studies (including specification of whether this was done at the study or outcome level), and how this information is to be used in any data synthesis.	
Summary measures	13	State the principal summary measures (e.g., risk ratio, difference in means).	
Synthesis of results	14	Describe the methods of handling data and combining results of studies, if done, including measures of consistency (e.g., I^2) for each meta-analysis.	
Risk of bias across studies	15	Specify any assessment of risk of bias that may affect the cumulative evidence (e.g., publication bias, selective reporting within studies).	
Additional analyses	16	Describe methods of additional analyses (e.g., sensitivity or subgroup analyses, meta-regression), if done, indicating which were pre-specified.	
RESULTS			
Study selection	17	Give numbers of studies screened, assessed for eligibility, and included in the review, with reasons for exclusions at each stage, ideally with a flow diagram.	
Study characteristics	18	For each study, present characteristics for which data were extracted (e.g., study size, PICOS, follow-up period) and provide the citations.	
Risk of bias within studies	19	Present data on risk of bias of each study and, if available, any outcome-level assessment (see Item 12).	
Results of individual studies	20	For all outcomes considered (benefits or harms), present, for each study: (a) simple summary data for each intervention group and (b) effect estimates and confidence intervals, ideally with a forest plot.	
Synthesis of results	21	Present results of each meta-analysis done, including confidence intervals and measures of consistency.	
Risk of bias across studies	22	Present results of any assessment of risk of bias across studies (see Item 15).	
Additional analysis	23	Give results of additional analyses, if done (e.g., sensitivity or subgroup analyses, meta-regression [see Item 16]).	
DISCUSSION			
Summary of evidence	24	Summarize the main findings including the strength of evidence for each main outcome; consider their relevance to key groups (e.g., health care providers, users, and policy makers).	
Limitations	25	Discuss limitations at study and outcome level (e.g., risk of bias), and at review level (e.g., incomplete retrieval of identified research, reporting bias).	
Conclusions	26	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence, and implications for future research.	
FUNDING			
Funding	27	Describe sources of funding for the systematic review and other support (e.g., supply of data); role of funders for the systematic review.	

doi:10.1371/journal.pmed.1000097.t001

Table 1. Übersicht der Bestandteile des PRISMA Statements ⁹⁴

3.2. Literaturrecherche und Suchstrategie

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden die Datenbanken Medline, SPORTDiscus und PsychINFO via EBSCO Host durchsucht. Aktualisiert wurde diese zuletzt am 25. Mai 2020. Zur Identifizierung geeigneter Studien wurden im Suchalgorithmus die Schlagworte “exercise,” “sport,” “physical activity,” “physical exertion,” “physical training,” “running,” “jogging,” “walking,” “bicycling,” “strength training” mit den Begriffen “cognition,” “executive function,” “Set Shifting,” “reaction time” und “attention” kombiniert. Für den exakten Suchalgorithmus wird auf das Supplementary Material der zugrunde liegenden Publikation verwiesen. Die Literaturrecherche wurde unabhängig voneinander von einem weiteren Mitglied der Arbeitsgruppe durchgeführt. Unklarheiten wurden in Absprache miteinander gelöst.

3.3. Studienselektion

Der Titel und das Abstract jeder einzelnen Literaturquelle, welche durch den oben genannten Suchalgorithmus identifiziert wurde, wurde unter Berücksichtigung der zuvor definierten Ein- und Ausschlusskriterien gescreent. Nachfolgend wurden die Volltexte jener Studien, welche sich nach dem Screening des Titels und Abstracts als vielversprechend herausstellten, durchgearbeitet und ebenfalls auf Grundlage der Ein- und Ausschlusskriterien evaluiert. Die als relevant erachteten Referenzangaben aus jenen Volltexten wurden zusätzlich zu den Studien, die dem Suchalgorithmus entsprangen, berücksichtigt und auf ihre Eignung für die Metaanalyse geprüft.

Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden auf Grundlage der PICOS Kriterien⁹⁵ festgelegt und werden im Folgenden aufgeführt. Eine Übersicht dieser ist in Tabelle 2 aufgeführt.

Population

Studien wurden in die Metaanalyse eingeschlossen, wenn die untersuchten Probanden und Probandinnen gesunde Erwachsene waren. Die Probanden und Probandinnen wurden als Erwachsene definiert, wenn sie mindestens 18 Jahre alt waren. Studien, deren Probanden und Probandinnen unter 18 Jahre alt waren oder an einer Grunderkrankung litten, oder Studien, die Tiere untersuchten, wurden aus dem weiteren Verfahren ausgeschlossen.

Intervention

Inkludiert wurden Studien, welche ein einmaliges aerobes Training oder Krafttraining mit einer Dauer von mindestens fünf Minuten bis maximal 60 Minuten durchführten. Hierbei muss die Intensität dieser körperlichen Aktivität als leicht, moderat oder hoch eingestuft werden können. Definiert wurde das Vorliegen eines aeroben oder Krafttrainings nach den ACSM-Richtlinien

^{68,96}

Die Unterteilung der Trainingsintensitäten in leicht, moderat und hoch basiert auf der Definition von Norton und Kollegen (2010) für die aeroben körperlichen Aktivitäten ⁹⁷, und auf der Definition von Jovanovic (2014) für Krafttraining ⁹⁸.

Comparison

Studien wurden inkludiert, wenn sie die Effekte einer akuten körperlichen Aktivität gegen eine Kontrollgruppe verglichen. Diese durfte in ihrer Durchführung die Schwelle für eine leichte Trainingsintensität, wie sie von Norton und Jovanovic definiert wurde, nicht überschreiten ^{97,98}. Wurden in Studien zwei interventionelle Gruppen ohne Kontrollgruppe miteinander verglichen, wurden jene Studien aus der Metaanalyse ausgeschlossen.

Outcome

Als weiteres Einschlusskriterium galt eine Messung für eine verhaltensbasierte Set Shifting Leistung nachfolgend auf eine einmalige körperliche Aktivität als primärer oder sekundärer Endpunkt der Studie. Wurde die verhaltensbasierte Set Shifting Leistung während der körperlichen Aktivität gemessen, führte dies zum Ausschluss der Studie. Außerdem wurden Studien exkludiert, in denen die Messung der Set Shifting Leistung auf neurobiologischer Grundlage erfolgte.

Study Design

Inkludiert wurden ausschließlich Studien in englischer Sprache. Das Erscheinungsjahr der Publikation stellte keinen limitierenden Faktor dar.

Es wurden ausschließlich randomisierte Cross-over Studien oder randomisiert kontrollierte Studien inkludiert. Alle weiteren Studien mit einem geringeren als Evidenzlevel 1 nach den AHCPR Empfehlungen (Agency for Health Care Policy and Research) wurden nicht in die Metaanalyse eingeschlossen.

PICOS KRITERIEN	EINSCHLUSSKRITERIEN	AUSSCHLUSSKRITERIEN
POPULATION	gesunde Probanden und Probandinnen Erwachsene (Alter 18+)	kranke Probanden und Probandinnen Kinder / Jugendliche (Alter<18) Tiere
INTERVENTION	Einmaliges Training Aerobes Training/ Krafttraining Dauer: 5-60 min. Intensität: leicht, moderat, hoch	Wiederholtes Training Dauer. <5 min. oder >60 min. Keine Einteilung in Intensitäten möglich

COMPARISON	Vergleich gegen Kontrollgruppe	Keine Kontrollgruppe Zu hohe Intensität der Kontrollgruppe
OUTCOME	Messung verhaltensbasierter Set Shifting Leistung nach körperlicher Aktivität als primärer oder sekundärer Endpunkt	Messung neurobiologischer Set Shifting Leistung Messung während körperlicher Aktivität
STUDY DESIGN	Sprache: Englisch Randomisierte kontrollierte Studien Randomisierte Crossover Studien	Sprache: Nicht Englisch Studiendesigns mit einem Evidenzgrad >1

Tabelle 2. Übersicht der PICOS Kriterien dieser Arbeit

3.4. Neuropsychologische Tests

Ein weiteres Einschlusskriterium unabhängig der PICOS Kriterien stellt die Auswahl der durchgeführten neuropsychologischen Tests dar. Es wurden ausschließlich Studien in die Metaanalyse inkludiert, welche valide neuropsychologische Tests zur Erfassung der verhaltensbasierten Set Shifting Leistung einsetzen. Im Folgenden werden jene als valide bewerteten neuropsychologischen Tests aufgeführt und ihre Durchführung erläutert.

Trail Making Test

Der Trail Making Test (TMT) besteht aus zwei verschiedenen Bedingungen, Teil A und Teil B. Im ersten Teil, Teil A, erhalten die Probanden und Probandinnen ein Blatt Papier, auf dem ungeordnete Zahlen von 1 bis 25 gedruckt sind (Abbildung 4). Die Probanden und Probandinnen werden dazu aufgefordert, so schnell wie möglich mit einem Stift die Zahlen von 1 bis 25 in aufsteigender Reihenfolge miteinander zu verbinden (1-2-3...23-24-25). Es wird die Zeit gemessen, die bis zur korrekten Vollendung des ersten Durchlaufs benötigt wird. Hierbei wird vornehmlich die Leistung der Visuomotorik erfasst.

In Teil B sind auf einem weiteren Blatt Papier ungeordnet Zahlen von 1 bis 12 und Buchstaben von A bis L aufgedruckt (Abbildung 5). In diesem zweiten Durchlauf müssen die Probanden und Probandinnen nun abwechselnd die Zahlen in aufsteigender Reihenfolge und die Buchstaben in alphabetischer Reihenfolge miteinander verbinden (1-A-2-B...11-K-12-L). Auch hier wird die Zeit bis zur korrekten Vollendung des Durchlaufs gemessen. Hier spielt nun die Set Shifting Fähigkeit der Probanden und Probandinnen die wesentliche Rolle, da die Probanden und Probandinnen ihre Aufmerksamkeit zwischen Zahl und Buchstabe

durchgängig hin und her wechseln müssen, um den Test zu beenden. Somit gilt dieser Test als valide Methode um die Set Shifting Leistungen der Probanden und Probandinnen zu erfassen^{99–101}.

Machen die Probanden und Probandinnen einen Fehler in einem der Durchläufe werden sie vom Versuchsleiter direkt darauf hingewiesen und müssen diesen korrigieren, die Zeitmessung läuft hierbei jedoch weiter. Bei einer Anzahl von sieben Fehlern wird der Test abgebrochen.

Die Set Shifting Leistung wird gemessen als die Zeit, die die Probanden und Probandinnen benötigen haben, um Teil B des Tests erfolgreich zu beenden, oder als die Zeit für die Vollendung von Teil B im Verhältnis zu der Zeit, die für Teil A benötigt wurde¹⁰².

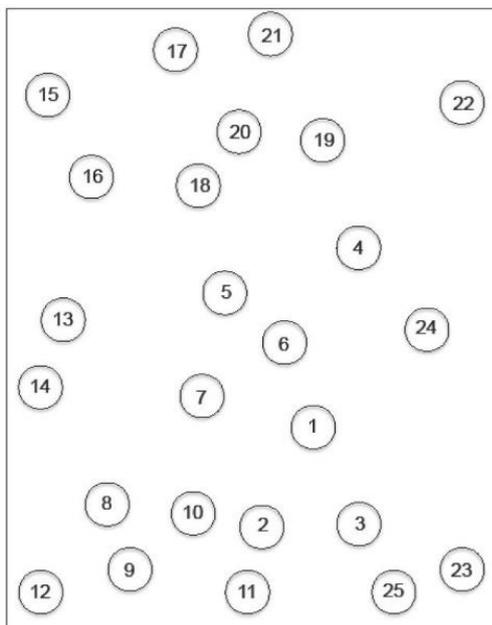


Abbildung 4. TMT A¹⁰³

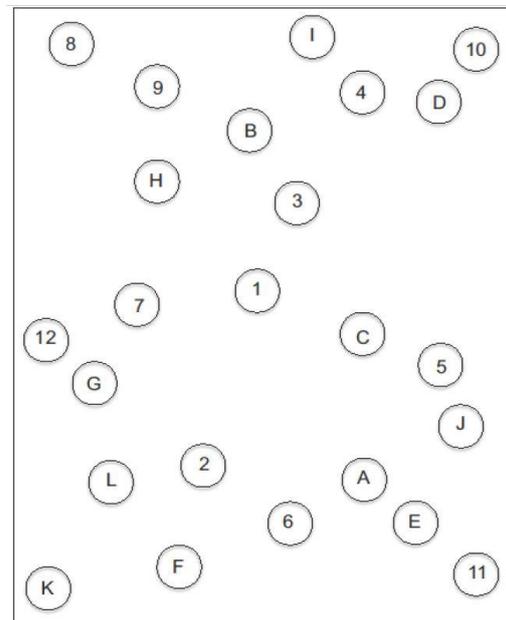


Abbildung 5. TMT B¹⁰³

Wisconsin Card Sorting Task

Im Jahre 1948 entwickelten Grant und Berg den Wisconsin Card Sorting Test (WCST)¹⁰⁴. Bei diesem Test werden vier verschiedene Stimulus-Karten vor den Probanden und Probandinnen platziert. Auf diesen sind jeweils ein rotes Dreieck, zwei grüne Sterne, drei gelbe Kreuze und vier blaue Kreise abgebildet. Zusätzlich erhalten die Probanden und Probandinnen einen Stapel von insgesamt 64 Karten, welche ebenfalls in drei Kategorien eingeteilt werden können: Anzahl (1, 2, 3, 4), Farbe (rot, gelb, grün, blau) und Form (Dreieck, Kreis, Stern, Kreuz). Nun werden die Probanden und Probandinnen dazu aufgefordert, die oberste Karte des Stapels zu ziehen und diese, ohne spezifische Instruktion, einer der vier Stimulus-Karten auf Grundlage einer der drei Kategorien zuzuordnen¹⁰⁵. Abbildung 6 zeigt beispielsweise eine Situation während der Durchführung des WCST. Hier zieht der Proband eine Karte mit zwei blauen

Sternen vom Stapel. Nun kann er diese entweder nach der Form „Stern“ auf die Stimulus-Karte 2, nach der Anzahl „2“ auf Stimulus-Karte 2, oder nach der Farbe „blau“ auf die Stimulus-Karte 4 sortieren.

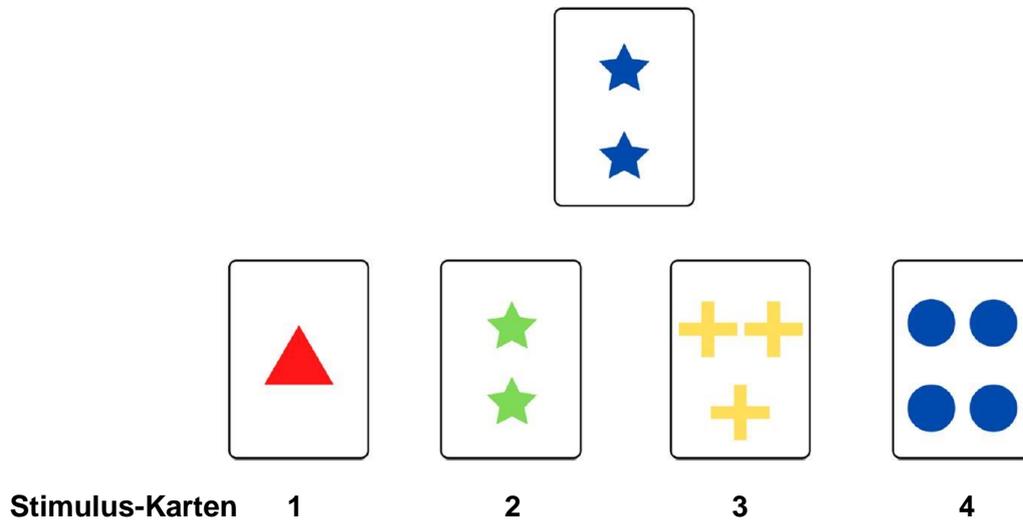


Abbildung 6. Wisconsin Card Sorting Task ¹⁰⁶

Die Regel, auf Basis welcher Kategorie der Proband seine Karte den Stimulus-Karten zuzuordnen hat, wird nicht im Voraus kommuniziert. Die Probanden und Probandinnen identifizieren diese Regel über eine akustische Rückmeldung, welche sie vom Versuchsleiter oder maschinell erhalten. Sortiert der Proband oder die Probandin seine oder ihre Karte in die für temporär als „richtig“ befundene Kategorie ein, erhält er oder sie eine akustische positive Bestätigung und kann seine oder ihre nächste Karte auf dieser Grundlage in die gleiche Kategorie den Stimulus-Karten zuordnen. In unserem Beispiel würde der Proband oder die Probandin beispielsweise seine oder ihre Karte der Stimulus-Karte 4 zuordnen, erhält ein positives Feedback, und kann somit die nächste Karte auf Grundlage ihrer Farbe einsortieren. So fährt er oder sie fort, bis er oder sie nach zehn korrekten Sortierungen in Folge auf Basis der Kategorie „Farbe“ eine negative Rückmeldung erhält. Zu diesem Zeitpunkt ist der Proband oder die Probandin dazu angehalten, die Kategorie bei der Einordnung der Karten zu ändern. Welche Kategorie nun die neue temporär „richtige“ darstellt, muss wieder anhand der akustischen Rückmeldung neu ermittelt werden. Nach weiteren zehn richtigen Karten in Folge wird ein negatives Feedback erneut eine neue Kategorie einleiten ¹⁰⁶. Der WCST erfordert daher die Fähigkeit, mentale Sets zu bilden und zwischen diesen hin und her zu wechseln. Somit stellt er eine valide Methode zur Erfassung der Set Shifting Leistung dar ^{107,108}. Der Test besteht aus zwei Durchläufen mit jeweils 64 Stapelkarten. Gemessen wird die Set Shifting

Leistung der Probanden und Probandinnen als die Zeit, welche benötigt wird, um den Test zu beenden ¹⁰⁶.

Task Switching Task / Switch Trial

Barenberg (2015) konzipierte diesen Test basierend auf der Grundlegenden Idee von Monsell und Rogers (1995) ^{53,84}. Er startet mit zwei "single task blocks", in welchen den Probanden und Probandinnen auf einem Bildschirm geometrische Figuren angezeigt werden. Diese müssen im ersten Durchlauf anhand ihrer Farbe (blau oder gelb), im zweiten anhand ihrer Form (Dreieck oder Kreis) klassifiziert werden. Die Probanden und Probandinnen werden dazu aufgefordert, die Figur so schnell wie möglich einer Farbe bzw. Form zuzuordnen und mit einem Mausklick ihre Aussage zu bestätigen, sodass im Anschluss direkt die nächste Figur angezeigt wird. Die "single task blocks" bestehen aus 32 experimentellen Durchläufen. Darauf folgen dann 32 Durchläufe des sogenannten "mixed task blocks". Hier wird der Bildschirm in vier Quadranten eingeteilt. Erscheint die geometrische Figur in einem der zwei oberen Quadranten, muss die Figur nach ihrer Form klassifiziert werden. Erscheint die geometrische Figur in einem der zwei unteren Quadranten, ist die Farbe die Kategorie, in welche die Probanden und Probandinnen die Figur einteilen müssen. Die somit gemessene Set Shifting Leistung der Probanden und Probandinnen wird durch die benötigte Zeit für die Komplettierung des "mixed task blocks" erfasst ⁸⁴.

Dimension - Switching Task

Der Dimension Switch Task basiert auf der Basis von Albinet und Boucard (2012) und wurde im Jahre 2016 von Brush modifiziert ¹⁰⁹⁻¹¹¹. Hier werden als Stimulus auf einem Bildschirm die Worte „rechts“ und „links“ in einen Pfeil projiziert, welcher zufällig entweder nach rechts oder nach links gerichtet ist. Die dementsprechend vier möglichen Kombinationen werden in Abbildung 7 demonstriert.



Abbildung 7. Stimuli des Dimension – Switching Task

Der Bildschirm ist in zwei Hälften geteilt, in eine obere und eine untere Hälfte. Erscheint der Stimulus in der oberen Bildschirmhälfte, müssen die Probanden und Probandinnen auf einer Tastatur die Pfeiltaste anklicken, welche das geschriebene Wort ihnen vorgibt. Erscheint der Stimulus in der unteren Bildschirmhälfte, müssen die Probanden und Probandinnen auf die

Richtung des projizierten Pfeils achten und die ihm entsprechende Pfeiltaste auf der Tastatur drücken.

Der Test besteht aus zwei "simple blocks" und einem "mixed block". Im "simple block" erscheint der Stimulus dauerhaft in der gleichen Lokalisation, sodass die Probanden und Probandinnen durchgehend entweder nur auf die Worte oder die Pfeilrichtung achten müssen. Im "mixed block" jedoch, erscheinen die Stimuli nach dem Zufallsprinzip entweder in der oberen oder der unteren Bildschirmhälfte, wodurch die Probanden und Probandinnen nun zwischen den zwei mentalen Sets hin und her wechseln und sich immer neu einstellen müssen. Um diese Aufgabe erfolgreich meistern zu können werden die Set Shifting Fähigkeiten der Probanden und Probandinnen beansprucht. Das Ausmaß ihrer Fähigkeiten wird durch die Zeitdifferenz zwischen "simple block" und "mixed block" erfasst ¹¹¹.

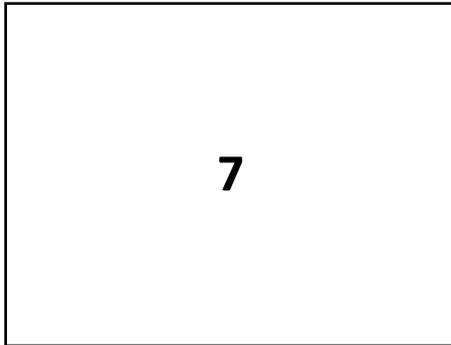
Plus Minus Task

Der Plus Minus Task ist angelehnt an die Grundidee von Miyake (2000) und Boucard (2012)^{41,110}. Dieser Test besteht aus drei Durchläufen. Den Probanden und Probandinnen werden hintereinander 30 zweistellige Zahlen (10 - 99) in zufälliger Reihenfolge gezeigt. Im ersten Durchlauf werden sie dazu aufgefordert, so schnell wie möglich auf jede Zahl 3 aufzuaddieren. Im zweiten sollen sie von jeder der 30 Zahlen 3 subtrahieren. Im letzten Durchlauf müssen die Probanden und Probandinnen auf jede Zahl abwechselnd 3 addieren, und auf die nächste 3 subtrahieren, bis der Durchlauf nach 30 Zahlen als beendet gilt. Während die Probanden und Probandinnen in den ersten beiden Durchgängen lediglich dieselbe Aufgabe erhalten, müssen sie im Letzten zwischen zwei verschiedenen hin und her wechseln, was ihre Set Shifting Fähigkeiten erforderlich macht. Erfasst werden diese in der benötigten Zeit bis zur Beendigung des dritten Durchlaufs, bzw. in der Zeitdifferenz des dritten Durchlaufs zu den ersten beiden ¹¹¹.

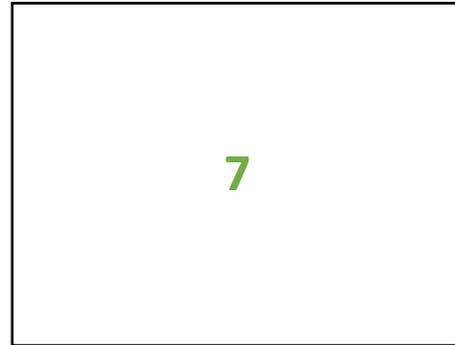
More Odd Task

Der More Odd Task basiert auf der Grundlage von Hillman (2006) und Salthouse (1998) ^{112,113}. Er besteht aus drei verschiedenen Blocks. In jedem Block werden den Probanden und Probandinnen Zahlen von 1-4 und 6-9 in zufälliger Reihenfolge auf einen Bildschirm projiziert. In Block A erscheinen die Zahlen in schwarz, und die Probanden und Probandinnen werden dazu aufgefordert mithilfe zwei verschiedener Tasten anzugeben, ob die erschienene Zahl größer oder kleiner als fünf ist. In Block B werden die Zahlen in grüner Farbe projiziert. Nun sollen die Probanden und Probandinnen die Zahlen in „gerade“ oder „ungerade“ einteilen. In Block C werden die Set Shifting Fähigkeiten der Probanden und Probandinnen getestet. Hier erscheinen die Zahlen im Wechsel in schwarz und grün. Je nach Farbe müssen die Probanden und Probandinnen abwechselnd die Zahlen in größer/kleiner als fünf (schwarze Zahl) oder

gerade/ungerade Zahl (grüne Zahl) einteilen (Abbildung 8). Dabei ist es erforderlich, zwischen den zwei mentalen Sets hin und her zu wechseln. Die Set Shifting Leistung wird in der Zeitdifferenz von Block C zu Block A und B gemessen ¹¹⁴.



Schwarz: < oder > 5

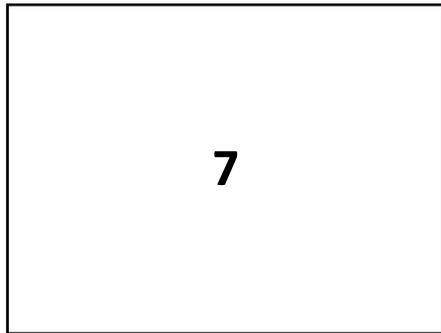


Grün: gerade oder ungerade

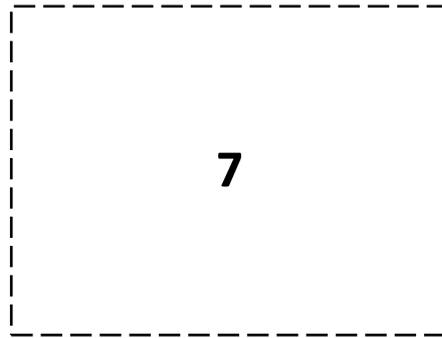
Abbildung 8. More Odd Task

Task Switching Paradigm

Dieser Test ist dem More-Odd Task sehr ähnlich. Er besteht aus drei Durchläufen. Im Ersten erscheinen Zahlen von 1-4 und 6-9 nach dem Zufallsprinzip in einem Rahmen mit durchgezogener Linie. Die Probanden und Probandinnen müssen anhand von Tasten entscheiden, ob die Zahl größer oder kleiner als fünf ist. Im zweiten Durchlauf erscheinen die Zahlen in einem gestrichelten Rahmen, nun müssen die Probanden und Probandinnen entscheiden, ob es sich um eine gerade oder ungerade Zahl handelt. Diese zwei homogenen Durchläufe werden von einem dritten, heterogenen Durchlauf gefolgt. Hier erscheinen die Zahlen im Wechsel in einem Rahmen mit durchgezogener oder gestrichelter Linie, und die Probanden und Probandinnen müssen im Wechsel entscheiden, ob die projizierte Zahl kleiner/größer als fünf (durchgezogene Linie) oder gerade/ungerade (gestrichelte Linie) ist (Abbildung 9). Das Wechseln zwischen diesen mentalen Sets erfolgt aufgrund der Set Shifting Fähigkeiten der Probanden und Probandinnen. Diese wird in der Zeitdifferenz von Beendigung der homogenen Durchläufe zu Beendigung der Heterogenen gemessen ¹¹⁵.



Linie durchgezogen: < oder > 5



Linie gestrichelt: gerade oder ungerade

Abbildung 9. Task Switching Paradigm

Visual Switch Task

Der Visual Switch Task wurde von Kramer (2001) entwickelt und von Tomporowski und Ganio (2006) modifiziert ^{116,117}. Bei diesem Test wird den Probanden und Probandinnen ein Bildschirm präsentiert, welcher in vier Quadranten eingeteilt ist. Im Uhrzeigersinn erscheint ein Buchstaben-Zahl Paar (z.B. A-8) in einem der Quadranten. Erscheint es in einem der oberen Quadranten, sind die Probanden und Probandinnen dazu angehalten, die Zahl des Paares als relevant zu betrachten und anhand von Tasten zu entscheiden, ob es sich bei der Zahl um eine gerade oder ungerade Zahl handelt. Wird das Paar in eines der unteren Quadranten projiziert, wird der Buchstabe relevant, und die Probanden und Probandinnen müssen entscheiden, ob der Buchstabe ein Vokal oder ein Konsonant ist. Für das Wechseln zwischen diesen mentalen Sets werden Set Shifting Fähigkeiten benötigt. Ihr Ausmaß wird anhand der benötigten Zeit für 120 Paare ermittelt ¹¹⁸.

3.5. Studiendesign

Eingeschlossen wurden nur diejenigen Studien, welche entweder ein randomisiertes kontrolliertes oder randomisiertes Crossover Studiendesign verwendeten.

3.5.1 Randomisierte kontrollierte Studien

Randomisierte kontrollierte Studien (RCT - "randomized controlled trial") stellen den Goldstandard dar, um eine Intervention hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu untersuchen. Sie bilden eine valide Grundlage und sind Voraussetzung für die Evidenzklasse I nach der AH-CPR Publikation ²³. Eine Übersicht der Evidenzklassen zeigt Tabelle 3.

Stufe	Evidenztyp
Ia	Wenigstens ein systematischer Review auf der Basis methodisch hochwertiger randomisierter, kontrollierter Studien (RCT)
Ib	Wenigstens eine ausreichend große, methodisch hochwertige RCT
IIa	Wenigstens eine hochwertige Studie ohne Randomisierung
IIb	Wenigstens eine hochwertige Studie eines anderen Typs quasi experimenteller Studien
III	Mehr als eine methodisch hochwertige nichtexperimentelle Studie
IV	Meinungen und Überzeugungen von angesehenen Autoritäten (aus klinischer Erfahrung), Expertenkommissionen, beschreibende Studien

Tabelle 3. Übersicht der Evidenzklassen ¹¹⁹

Hier wird eine Intervention gegen eine Kontrolle verglichen, die Probanden und Probandinnen und Probandinnen werden hierfür randomisiert, also zufällig, entweder einer Kontroll- oder Interventionsgruppe zugeordnet ¹²⁰. Anschließend werden zuvor definierte Endpunkte in jeweils beiden Gruppen gemessen mit dem Ziel, möglichst wenig verzerrende Einflüsse zuzulassen, sodass die gemessenen Unterschiede allein durch die durchgeführte Intervention erklärt sind ¹²¹. Eine schematische Übersicht über den orientierenden Ablauf einer randomisiert kontrollierten Studie ist in Abbildung 10 dargestellt.

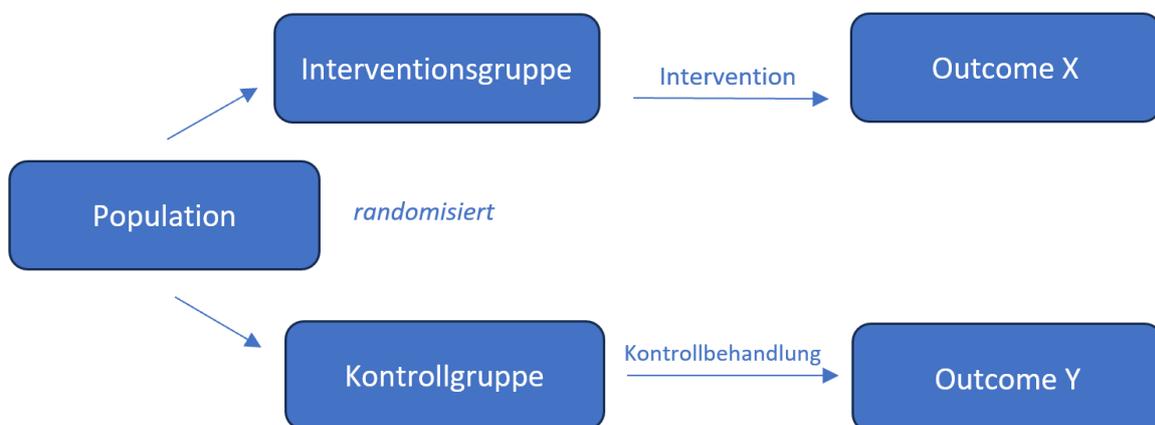


Abbildung 10. Randomisiert kontrolliertes Studiendesign

3.5.2 Crossover Studien

Das Prinzip eines Crossover Studiendesigns beruht hingegen darauf, dass jeder Proband und jede Probandin als die eigene Kontrolle eingesetzt wird. Auch hier werden die Probanden und Probandinnen randomisiert, nach dem Zufallsprinzip, zwei Gruppen zugeordnet, in welchen sie entweder zunächst der Interventionsgruppe oder der Kontrollgruppe zugeteilt werden, und diese durchlaufen. Darauf folgt eine zweite Behandlungsperiode, in welcher nun dieselben Probanden und Probandinnen und Probandinnen in die entgegengesetzte Gruppe eingeordnet werden, sodass jedes Individuum sowohl eine Intervention als auch eine Kontrollbehandlung erhalten hat ¹²². Hierbei ist es sehr wichtig, dass es von der ersten Behandlungsperiode keinen Lern- oder sogenannten Überhangeffekt (Carry Over Effekt) auf die zweite Periode gibt, da dies die Vergleichbarkeit deutlich einschränken würde. Um dies möglichst zu vermeiden, werden beide Perioden durch eine sogenannte "Wash Out Phase" zeitlich voneinander getrennt, sodass im günstigsten Fall die zweite Periode mit möglichst ähnlichen Grundvoraussetzungen eingeleitet werden kann ¹²³. Eine schematische Übersicht über den orientierenden Ablauf eine Crossover Studie ist in Abbildung 11 dargestellt.

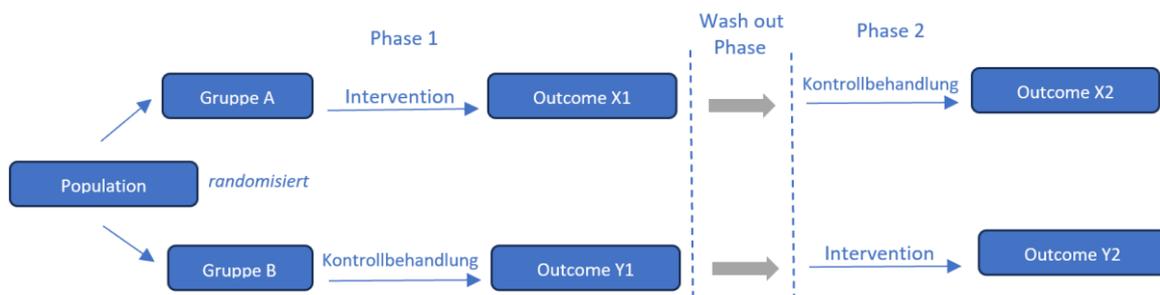


Abbildung 11. Crossover Studiendesign

3.6. Datenextraktion

Die durch den Studienselktionsprozess als für die Metaanalyse geeignet identifizierten Studien wurden in diese inkludiert und ihre Daten sorgfältig extrahiert. Zur übersichtlicheren Arbeit und nachfolgender Auswertung der Daten, wurden diese in einer Excel-Datenextraktionstabelle erfasst. Zunächst wurden die Erstautoren, das Erscheinungsjahr, der Titel und das Design der Studie festgehalten. Darauf folgten die Daten zu den Probanden und Probandinnen der jeweiligen Studie. Darunter fielen das Geschlecht, die Gesamtanzahl und das Alter im Durchschnitt plus Standardabweichung aller Probanden und Probandinnen. Außerdem wurden die Daten bezüglich der körperlichen Aktivität festgehalten. Hier gab es eine kurze Beschreibung der durchgeführten Übung, die Einteilung in eine Intensität und Trainingsart, die Zeitdauer der sportlichen Einheit, sowie die Anzahl an Probanden und Probandinnen, welche diese absolvierten. Analog wurde eine kurze Beschreibung der

Durchführung der Kontrollaktivität, ihrer Zeitdauer, die Einteilung in eine Art der Kontrollgruppe und die Anzahl der Probanden und Probandinnen der Kontrollgruppe in der Tabelle aufgeführt. In eine weitere Spalte der Tabelle wurde der durchgeführte neuropsychologische Test zur Erfassung der Set Shifting Leistung eingetragen. Und letztlich wurden auch die Zeitmessungen in Millisekunden (ms) für die Beendigung der neuropsychologischen Tests als Indikator für die Set Shifting Leistung der Probanden und Probandinnen in die Tabelle integriert. Jeweils zwei Spalten für die benötigte Zeit der experimentellen sowie der Kontrollgruppe vor Durchführung der körperlichen bzw. Kontrollaktivität, und zwei weitere Spalten für die Zeitmessungen der experimentellen sowie der Kontrollgruppe nach ihren durchgeführten Aktivitäten. Hinzu kommen noch vier weitere Spalten für die Standardabweichung der jeweiligen Messwerte. Eine Übersicht der Komponenten der Datenextraktionstabelle zeigt Tabelle 4.

Komponenten der Datenextraktionstabelle	
1. Erstautor	
2. Erscheinungsjahr	
3. Titel der Studie	
4. Studiendesign	
5. Geschlecht	
6. Alter (Durchschnitt)	
7. Alter (Standardabweichung)	
8. Anzahl Probanden und Probandinnen (gesamt)	
9. Beschreibung Intervention	
10. Intensität Intervention	
11. Art Intervention	
12. Dauer Intervention	
13. Beschreibung Kontrolle	
14. Art Kontrolle	
15. Dauer Kontrolle	
16. Neuropsychologischer Test	
17. Anzahl Probanden und Probandinnen Intervention	
18. Zeit Prä-Intervention (Durchschnitt)	
19. Zeit Prä-Intervention (Standardabweichung)	
20. Zeit Post-Intervention (Durchschnitt)	

21. Zeit Post-Intervention (Standardabweichung)
22. Anzahl Probanden und Probandinnen Kontrolle
23. Zeit Prä- Kontrolle (Durchschnitt)
24. Zeit Prä- Kontrolle (Standardabweichung)
25. Zeit Post- Kontrolle (Durchschnitt)
26. Zeit Post- Kontrolle (Standardabweichung)

Tabelle 4. Komponenten der Datenextraktionstabelle

Konnten einzelne Daten aus dem Volltext der jeweiligen Studie nicht eindeutig identifiziert werden, wurde der korrespondierende Autor oder korrespondierende Autorin kontaktiert und um Einsicht in die gewünschten Daten gebeten. Wurden die Daten in Form einer Grafik präsentiert, wurden die absoluten Daten mittels WebPlotDigitizer extrahiert ¹²⁴. Im Falle von multiplen Interventions- bzw. Kontrolldurchläufen, in denen die untersuchte Moderatorvariable unverändert blieb, wurden die Daten der verschiedenen Durchläufe basierend auf der Methode von Higgins und Deeks (2011) zusammengefasst ¹²⁵. Bei wiederholter Durchführung desselben Interventions- bzw. Kontrolldurchlaufs, wurde lediglich der erste Durchgang in der Analyse berücksichtigt, um Bias aufgrund von Lerneffekten zu vermeiden.

Der gesamte Prozess der Datenextraktion wurde unabhängig von zwei Mitgliedern des Review-Teams durchgeführt. Uneinigkeiten wurden in einer anschließenden Diskussion gelöst.

3.7. Bewertung der Studienqualität

Um die methodische Qualität der eingeschlossenen Studien zu beurteilen, wurden diese anhand der Physiotherapie Evidence Database (PEDro) Skala analysiert ¹²⁶ (Abbildung 12). Sie besteht aus den folgenden 11 Punkten: 1) Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert, 2) Die Probanden und Probandinnen wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden und Probandinnen randomisiert zugeordnet), 3) Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen, 4) Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich, 5) Alle Probanden und Probandinnen waren verblindet, 6) Alle Therapeuten und Therapeutinnen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren verblindet, 7) Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren verblindet, 8) Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden und Probandinnen wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen, 9) Alle Probanden und Probandinnen, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine Intention-to-treat

Methode analysiert, 10) Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet, 11) Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome¹²⁶. Für Studien, welche den Effekt einer körperlichen Aktivität investigieren, sind die Verblindung von Probanden und Probandinnen und die Verblindung der Therapeuten/Innen schwer zu erreichen. Daher wurden die Punkte 5 (Alle Probanden und Probandinnen waren verblindet) und 6 (Alle Therapeuten und Therapeutinnen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren verblindet) für die Beurteilung der methodischen Qualität und internen Validität der eingeschlossenen Studien nicht mit berücksichtigt¹²⁷. Somit ändert sich die maximal zu erreichende Punktzahl der PEDro Skala für diese Metaanalyse von 11 auf 9. Jede inkludierte Studie wurde unabhängig von zwei Mitgliedern der Arbeitsgruppe auf das Vorhandensein der PEDro Kriterien untersucht. Traf ein PEDro Kriterium eindeutig auf eine Studie zu, erhielt diese Studie hierfür einen Punkt auf der PEDro Skala und das Kriterium wurde in die Kategorie „low risk of bias“ eingestuft. War ein PEDro Kriterium auf eine Studie unzutreffend, erhielt sie keinen Punkt auf der PEDro Skala und das Kriterium wurde in die Kategorie „high risk of bias“ eingeteilt. Enthielt die betreffende Studie die Information, welche zur Einschätzung der Erfüllung eines Kriteriums benötigt wird, nicht, so erhielt sie auch hier keinen Punkt auf der PEDro Skala und wurde mit „unclear risk of bias“ bewertet. Das initiale Level der Übereinstimmung für die jeweiligen PEDro Beurteilungen der zwei wertenden Mitglieder war exzellent (intraclass correlation coefficient [ICC] = 0.93). Uneinigkeiten wurden in einer Diskussion miteinander geklärt.

PEDro-skala – Deutsch

1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
2. Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet)	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
3. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
5. Alle Probanden waren geblindet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
6. Alle Therapeuten/Innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
7. Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblindet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
8. Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
9. Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine ‚intention to treat‘ Methode analysiert	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
10. Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
11. Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:

Abbildung 12. Kriterien der PEDro Skala ¹²⁶

3.8. Analyse der Moderatorvariablen

3.8.1. Alter der Probanden und Probandinnen

Das Alter der Probanden und Probandinnen wurde als potenzieller Moderator für den Effekt einer einmaligen körperlichen Aktivität in die Subgruppenanalyse inkludiert.

Die Probanden und Probandinnen wurden für die Analyse abhängig von ihrem Alter in die Kategorien (1) „junge Erwachsene“ (Alter von 18 bis 34 Jahren) oder (2) „ältere Erwachsene“ (Alter ab 35 Jahren) eingeteilt ⁶⁷.

3.8.2. Trainingsmodalität

Auch die Art des Trainings wurde als vielversprechender potenzieller Moderator identifiziert und in die Subgruppenanalyse eingeschlossen.

Unterschieden wurde hier zwischen (1) aeroben Training und (2) Krafttraining. Die Grundlage für diese Unterteilung bildete die Definition der ACSM-Guidelines. Diese definieren aerobe

Aktivität durch die rhythmische, kontinuierliche Nutzung mehrerer Muskelgruppen ⁶⁸. Die Definition für Krafttraining liegt in der Verwendung von freien Gewichten, Gewichten an Trainingsgeräten oder auch Widerstandsbändern ⁶⁸.

3.8.3. Trainingsintensität

Die Intensität des Trainings wurde auf ihre potenzielle Moderation des Effekts einer einmaligen sportlichen Aktivität in einer Subgruppenanalyse untersucht.

Sie wird eingeteilt in (1) leichte, (2) moderate und (3) hohe Trainingsintensität.

Die Klassifikation von aerober körperlicher Aktivität erfolgte anhand der Definition von Norton und Norton (2010) ⁹⁷. Demnach wurde eine aerobe körperliche Aktivität als „leicht“ eingestuft, wenn das „Rating of perceived exertion“ einem Wert von 8 bis 10 auf der Borg-Skala, die Herzfrequenz 40 – 55% der maximalen Herzfrequenz und 20 – 40% der Herzfrequenzreserve oder die Sauerstoffaufnahme 20 – 40% der maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität der Probanden und Probandinnen entsprach. Die Einteilung in die Stufe „moderat“ erfolgte bei einem „Rating of perceived exertion“ von 11 bis 13 auf der Borg-Skala, einer Herzfrequenz von 56 – 70% der maximalen Herzfrequenz und 41 – 60% der Herzfrequenzreserve oder einer Sauerstoffaufnahme von 41 – 60% der maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität. Einer aeroben Trainingseinheit wurde eine „hohe“ Trainingsintensität zugeschrieben, wenn das „Rating of perceived exertion“ einem Wert von 14 bis 16 auf der Borg-Skala, die Herzfrequenz 71 – 90% der maximalen Herzfrequenz und 61 – 85% der Herzfrequenzreserve oder die Sauerstoffaufnahme 60 – 85% der maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität der Probanden und Probandinnen entsprach ⁹⁷. Eine Übersicht über die Einteilung der aeroben Aktivität zeigt Tabelle 5.

Intensity category	Objective measures	Subjective measures	Descriptive measures
SEDENTARY	< 1.6 METs < 40% HR _{max} < 20% HRR < 20% VO _{2max}	RPE (C): < 8 RPE (C-R): < 1	<ul style="list-style-type: none"> activities that usually involve sitting or lying and that have little additional movement and a low energy requirement
LIGHT	1.6 < 3 METs 40 < 55% HR _{max} 20 < 40% HRR 20 < 40% VO _{2max}	RPE (C): 8-10 RPE (C-R): 1-2	<ul style="list-style-type: none"> an aerobic activity that does not cause a noticeable change in breathing rate an intensity that can be sustained for at least 60 minutes
MODERATE	3 < 6 METs 55 < 70% HR _{max} 40 < 60% HRR 40 < 60% VO _{2max}	RPE (C): 11-13 RPE (C-R): 3-4	<ul style="list-style-type: none"> an aerobic activity that is able to be conducted whilst maintaining a conversation uninterrupted an intensity that may last between 30 and 60 minutes
VIGOROUS	6 < 9 METs 70 < 90% HR _{max} 60 < 85% HRR 60 < 85% VO _{2max}	RPE (C): 14-16 RPE (C-R): 5-6	<ul style="list-style-type: none"> an aerobic activity in which a conversation generally cannot be maintained uninterrupted an intensity that may last up to about 30 minutes
HIGH	≥ 9 METs ≥ 90% HR _{max} ≥ 85% HRR ≥ 85% VO _{2max}	RPE (C): ≥ 17 RPE (C-R): ≥ 7	<ul style="list-style-type: none"> an intensity that generally cannot be sustained for longer than about 10 minutes

Tabelle 5. Definition der aeroben Trainingsintensität nach Norton und Norton ⁹⁷

Legende: MET = Metabolische Äquivalente, HR_{max} = maximale Herzfrequenz, HRR = Herzfrequenzreserve, VO_{2max} = maximale Sauerstoffaufnahme, RPE = Rating of perceived exertion nach Borg-Skala, (C) = Category Skala, (C-R) = Category-Ratio Skala

Die Klassifikation des Krafttrainings erfolgte nach der Definition von Jovanovic (2014) ⁹⁸. Es wurde als „leicht“ definiert, wenn eine Intensität von 61 – 70% des individuellen Wiederholungsmaximums der Probanden und Probandinnen beschrieben wurde. Bei einer Intensität von 71 – 80% des individuellen Wiederholungsmaximums der Probanden und Probandinnen wurde die Aktivität als „moderat“ eingestuft. Eine „hohe“ Intensität lag bei 80 – 100% des individuellen Wiederholungsmaximums der Probanden und Probandinnen vor ⁹⁸. Eine Übersicht über die Einteilung des Krafttrainings zeigt Tabelle 6.

Intensity levels	%1RM	Effort Levels				Prilepin's Chart		
		Max Effort (ME) Max reps	Near Max (NME) 1 rep short	Hard (HE) 3 reps short	Medium Hard (MHE) 5 reps short	Reps per set	Optimal Volume	Volume Range
Heavy+	100%	1				1-2	7	4-10
	95%	2	1			1-2	7	4-10
	92%	3	2			1-2	7	4-10
Heavy	89%	4	3	1		2-4	15	10-20
	86%	5	4	2		2-4	15	10-20
	83%	6	5	3	1	2-4	15	10-20
	81%	7	6	4	2	2-4	15	10-20
Medium	79%	8	7	5	3	3-6	18	12-24
	77%	9	8	6	4	3-6	18	12-24
	75%	10	9	7	5	3-6	18	12-24
	73%	11	10	8	6	3-6	18	12-24
	71%	12	11	9	7	3-6	18	12-24
Light	70%	13	12	10	8	3-6	24	18-30
	68%	14	13	11	9	3-6	24	18-30
	67%	15	14	12	10	3-6	24	18-30
	65%	16	15	13	11	3-6	24	18-30
	64%	17	16	14	12	3-6	24	18-30
	63%	18	17	15	13	3-6	24	18-30
	62%	19	18	16	14	3-6	24	18-30
	61%	20	19	17	15	3-6	24	18-30

Copyright©2013 by Mladen Jovanović

Tabelle 6. Definition der Intensität des Krafttrainings nach Jovanovic ⁹⁸

Legende: RM = Repetition maximum = Wiederholungsmaximum

3.8.4. Art der Kontrollgruppe

Um die potenzielle Moderation durch die Art der verwendeten Kontrollgruppe auf den Effekt einer einmaligen körperlichen Aktivität zu identifizieren, wurde diesbezüglich eine Subgruppenanalyse durchgeführt. Hierfür wurde nach Pontifex (2019) Beispiel zwischen drei verschiedenen Arten von Kontrollgruppen differenziert: 1) passive Kontrollgruppe, 2) kognitiv beanspruchte Kontrollgruppe, 3) passive Kontrollgruppe ⁶⁷.

Die passive Kontrollgruppe ist körperlich inaktiv und führt auch keine kognitiv beanspruchenden Aktivitäten durch. Probanden und Probandinnen, die Teil einer solchen Kontrollgruppe sind, verbringen ihren Durchlauf beispielsweise lediglich im Sitzen.

Probanden und Probandinnen in einer kognitiv beanspruchten Kontrollgruppe führen geistig aktive Aktivitäten durch, beispielsweise lesen oder sich einen Film anschauen.

Die aktive Kontrollgruppe ist körperlich aktiv, jedoch in einem so geringen Maße, dass es sich nicht auf die Herzfrequenz der Probanden und Probandinnen auswirkt. Hierunter fallen Übungen wie beispielsweise Dehnen.

3.9. Datenanalyse

Für die Datenanalyse wurde die Software "R" mit dem "meta package" verwendet. Das "meta package" beinhaltet die Möglichkeit, diverse statistische Methoden, welche für eine Metaanalyse benötigt werden, zu nutzen, unter anderem das in der vorliegenden Metaanalyse verwendete Random Effects Modell oder die Erstellung von beispielsweise Forest Plots¹²⁸. Als primäre Metaanalyse untersuchten wir den Effekt einer akuten sportlichen Aktivität auf eine nachfolgende Set Shifting Leistung in gesunden Erwachsenen.

Häufig verwenden Metaanalysen, welche den Effekt einer Intervention mit dem einer Kontrolle vergleichen, die standardisierte Mittelwertdifferenz (SMD) als Effektmaß. Eine hierbei häufig genutzte Methode zur Berechnung der Effektstärke bezogen auf die Standardabweichung ist Cohen's d, hier wird der ermittelte Effekt diverser Studien unabhängig von der verwendeten Messmethode miteinander verglichen. Allerdings wird die Standardabweichung in Cohens Originalpublikation¹²⁹ nicht eindeutig definiert, sodass in der Regel die gepoolte Standardabweichung für die Berechnung verwendet wird. Cohen's d unterliegt jedoch vor allem bei kleinen Stichproben einer nicht zu vernachlässigenden Verzerrung (Bias)¹³⁰. Hedge's g wird analog zu Cohen's d berechnet, beseitigt jedoch die Verzerrung durch einen Korrekturfaktor. Dementsprechend wurde in dieser Metaanalyse die "Bias-korrigierte Hedge's g standardisierte Mittelwertdifferenz" (SMD) zwischen Interventionsgruppe und Kontrollgruppe nach erfolgter Behandlung für jeweils jede Studie berechnet. Die standardisierten Mittelwertdifferenzen (SMDs) wurden anschließend durch die Verwendung des "Random Effects" Modells gepoolt. Die Interpretation der Effektstärke der gepoolten standardisierten Mittelwertdifferenzen (SMDs) richtete sich nach der Klassifikation von Cohen. Nach Cohens Interpretation beginnt ein kleiner Effekt ab $|d|= 0.2$, ein mittlerer Effekt ab $|d|= 0.5$ und ein großer Effekt ab $|d|= 0.8$ ¹³¹. Ein negativer Effekt ist hier ebenfalls möglich, hier wird Cohens d negativ und wird nach ebenfalls nach der zuvor genannten Klassifikation interpretiert. Da die Effektstärken standardisiert sind, können hierdurch auch verschiedene Studien miteinander verglichen werden.

Über das Maß T^2 wurde das Vorliegen von Heterogenität zwischen den Studien festgestellt und mittels I^2 nach Higgins quantifiziert. Interpretiert wurden hier ein I^2 von 25% als niedrige, ein I^2 von 50% als moderate und ein I^2 von 75% als hohe Heterogenität zwischen den Studien¹³².

Die Durchführung der Sensitivitätsanalyse erfolgte durch das Exkludieren von Studien, welche anhand der PEDro Skala als "high risk of bias" eingestuft worden sind.

Anhand von Subgruppenanalysen untersuchten wir das Moderationspotenzial der bereits oben beschriebenen Variablen.

4. Ergebnisse

Die Präsentation der Ergebnisse der Metaanalyse basiert auf der dieser Arbeit zugrunde liegenden Publikation von Oberste und Sharma et al. und wird in ihrer Gesamtheit aus jener Publikation zitiert ¹.

4.1. Selektion von Studien

Durch die Literaturrecherche über die elektronischen Datenbanken konnten 6859 Publikationen identifiziert werden. Eine erweiterte Suche ausgehend von Quellen jüngster Metaanalysen ^{6,12,69} resultierte in fünf weiteren Studien. Nachdem Duplikate eliminiert wurden, erfolgte ein Screening von Titel und Abstract von insgesamt 4811 Publikationen. Hiervon konnten 4655 Studien exkludiert werden, da diese die zuvor definierten Einschlusskriterien nicht erfüllten oder Ausschlusskriterien vorlagen. Entsprechend blieben 156 Publikationen, deren Volltext nach Erhalt in seiner Gesamtheit durchgelesen wurde. Nachfolgend konnten hiervon weitere 134 Studien exkludiert werden, da es sich beispielsweise um nicht gesunde Erwachsene handelte, keine Messung der Set Shifting Leistung erfolgt war, keine Kontrollgruppe vorhanden gewesen ist oder die Set Shifting Tests während und nicht nach der körperlichen Aktivität durchgeführt worden sind. Letztlich konnten 22 Studien, welche kumulativ die Daten von insgesamt 1900 Probanden und Probandinnen beinhalteten, in die qualitative Synthese sowie in die Metaanalyse inkludiert werden. Eine Übersicht über den Selektionsprozess bietet das unten aufgeführte PRISMA Diagramm in Abbildung 13.

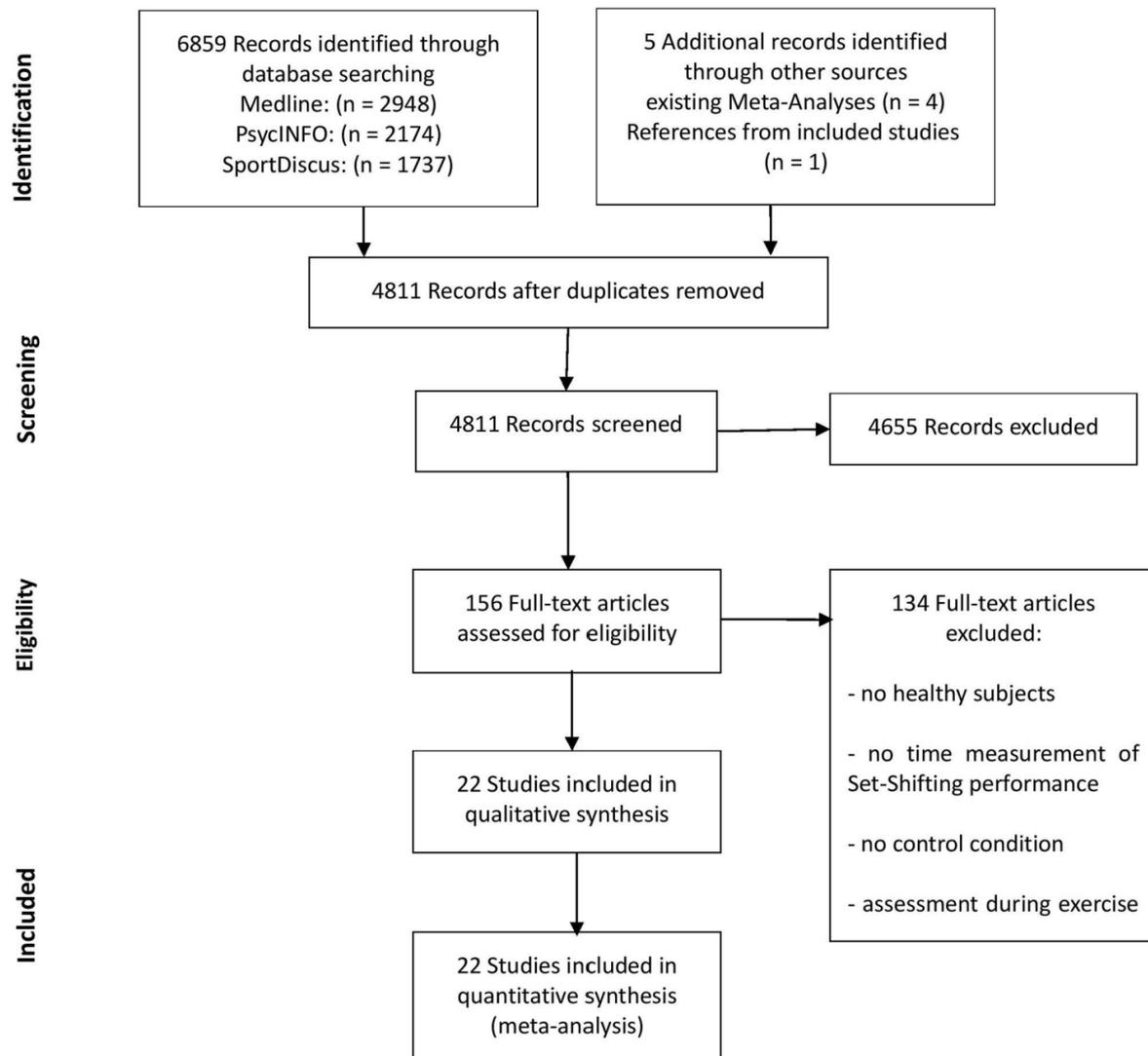


Abbildung 13. Flowchart der Studienselektion angelehnt an die PRISMA Guidelines⁹⁴

4.2. Studiencharakteristiken

Von den insgesamt 22 in die Metaanalyse inkludierten Studien basierten neun auf einem randomisiert kontrolliertem Studiendesign und 13 auf einem randomisierten Cross-Over Studiendesign.

In 12 Studien wurden einschussfähige multiple Interventions- bzw. Kontrolldurchläufe durchgeführt. Die von den jeweiligen Studien beschriebenen gemessenen Endpunkte waren die durchschnittliche oder absolut benötigte Reaktionszeit bis zum Beenden einer vordefinierten Anzahl an Interventions- bzw. Kontrolldurchläufen, oder die Anzahl an komplettierten Interventions- bzw. Kontrolldurchläufen innerhalb einer vordefinierten, vorgegeben Zeitspanne.

Im Durchschnitt erreichten die inkludierten Studien einen PEDro score von 6.52 (SD = 0.93), welcher einer guten durchschnittlichen methodologischen Studienqualität entspricht¹³³. Eine

Übersicht der durch PEDro bewerteten Studienqualität bzw. Verzerrungsrisiko aller inkludierten Studien zeigt Abbildung 14. Eine detailliertere Übersicht bietet Abbildung 15, welche die Einschätzung der jeweiligen PEDro Kriterien für jede einzelne eingeschlossene Studie abbildet. Eine umfangreiche Zusammenfassung aller Studiencharakteristiken und PEDro scores aller inkludierten Studien zeigt die Tabelle 7.

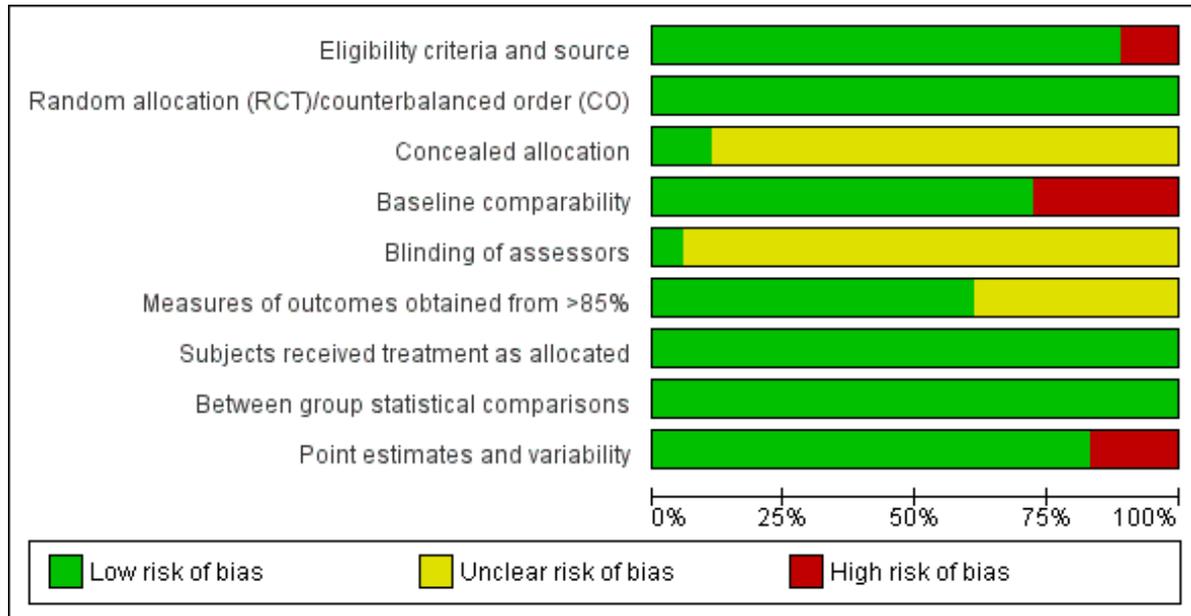


Abbildung 14. Übersicht über die nach PEDro bewertete Studienqualität aller inkludierten Studien

(grün = niedriges Bias Risiko, gelb = Bias Risiko unklar, rot = hohes Bias Risiko)

	Eligibility criteria and source	Random allocation (RCT)/counterbalanced order (CO)	Concealed allocation	Baseline comparability	Blinding of assessors	Measures of outcomes obtained from >85%	Subjects received treatment as allocated	Between group statistical comparisons	Point estimates and variability
Aguirre-Loaiza et al. 2019	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Alves et al. 2012	+	+	?	+	?	?	+	+	●
Bae et al. 2019	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Barenberg et al. 2015a	+	+	?	●	?	+	+	+	+
Barenberg et al. 2015b	+	+	?	●	?	+	+	+	+
Basso et al. 2015	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Brush et al. 2015	+	+	?	●	?	?	+	+	+
Chang et al. 2009	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Chen et al. 2018	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Coles et al. 2008	+	+	?	+	?	+	+	+	●
Cordova et al. 2009	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Crush et al. 2017	+	+	?	●	?	+	+	+	+
Douris et al. 2018	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Frith et al. 2017	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Hwang et al. 2016	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Jaffery et al. 2018	+	+	+	●	?	+	+	+	+
Kujach et al. 2020	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Murray et al. 2012	+	+	?	+	?	?	+	+	+
Naderi et al. 2018	●	+	?	+	?	?	+	+	+
Oberste et al. 2016	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Schwarck et al. 2019	+	+	?	+	?	+	+	+	+
Slusher et al. 2018	●	+	?	+	?	+	+	+	●
Wu et al. 2019	+	+	?	+	?	+	+	+	+

Abbildung 15. Detaillierte Übersicht über die nach PEDro bewertete Studienqualität für jede einzelne inkludierte Studie

(grün = niedriges Bias Risiko, gelb = Bias Risiko unklar, rot = hohes Bias Risiko)

Study	N/ Age	Study Design	Exercise treatment	Control group treatment	Test/ Timing of administration	Type of variable to measure cognitive flexibility	PEDro summary score
Aguirre-Loaiza et al. 2019	Gender not reported 21,15 ± 2,21y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: warm up 60–65% HRmax between 60 and 90 RPM, six sections of 4 min with six peaks of 85% HRmax between 90 and 100 RPM, and active recovery at 75% HRmax, cooldown 60% HRmax between 50 and 70 RPM • Type of exercise: aerobic • Intensity: 75–85% of HRmax ≅ “vigorous” • Duration: 45 min. or 35 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: passive • Description: resting • Duration: 45 min. or 30 min. 	TMT timing of administration not reported	RT	7/9
Alves et al. 2012	42 (f) 52 ± 7,3y	Crossover	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: walking • Description: no further information reported • Type of exercise: aerobic • Intensity: 50–60% of HR reserve ≅ “moderate” • Duration: 30 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: active • Description: listening to instructions, then low-intensity active stretching exercise • Duration: 30 min. 	TMT timing of administration not reported	RT accuracy	5/9
Bae et al. 2019	15 (f) / 14 (m) 21.4 ± 1.2y	Crossover	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 30 min of self-paced motor-driven treadmill exercise • Type of exercise: aerobic • Intensity: 70% of HRmax ≅ “moderate” • Duration: 30 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: reading • Duration: 30 min. 	Task Switching Test timing of administration not reported	RT (switch cost) accuracy	7/9
Barenberg et al. 2015 (a)	24 (f) / 25 (m) 24,45 ± 2,72y	Crossover	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 2-min warm-up at 25 W, workload was increased by 25 W every 10 s until exhaustion or pace falling below 60 rpm. 4-min recovery phase at 20 W • Type of exercise: aerobic • Intensity: 70 (rpm) ≅ “vigorous” • Duration: 45 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: sitting in a chair and listening to music • Duration: 10 min. 	Switch trial test timing of administration not reported	RT (switch cost)	6/9
Barenberg et al. 2015 (b)	27 (f) / 18 (m) 23,02 ± 1,71y	Crossover	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 2-min warm-up at 25 W, workload was increased by 25 W every 10 s until exhaustion or pace falling below 60 rpm. 4-min recovery phase at 20 W • Type of exercise: aerobic • Intensity: 70 (rpm) ≅ “vigorous” • Duration: 45 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: sitting in a chair and listening to music • Duration: 10 min. 	Switch trial test timing of administration not reported	RT (switch cost)	6/9
Basso et al. 2015	51 (f) / 34 (m) 20.78 ± 0.46y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 5 min. warm up, 50 min of vigorous-intensity aerobic exercise, 5 min. cool-down • Type of exercise: aerobic • Intensity: 85% of HRmax ≅ “vigorous” • Duration: 60 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: watching TV • Duration: 60 min. 	TMT 30, 60 min. after exercise cessation	RT	7/9
Brush et al. 2015	14 (f) / 14 (m) 20,5 ± 2,1y	Crossover	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: bench press, shoulder press, dumbbell rows, alternating bicep curls, triceps pushdowns, leg extensions, and leg curls • Description: three sets of 10 repetitions, 120 s rest between sets and exercises • Type of exercise: resistance • Intensity: 40%, 70% and 100% of 10-RM ≅ “light”, “moderate” and “vigorous” • Duration: 45 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: watching video • Duration: 45 min. 	Dimension-Switching Task, Plus-Minus Task 15 min. after exercise cessation	RT accuracy	5/9
Chang et al. 2009	27 (f) / 14 (m) 49,1 ± 8,73y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: right-arm curl, left-arm curl, dumbbell rowing-right hand, dumbbell rowing-left hand, dumb-bell lateral raise, and bench press • Description: 2 sets of 10 repetitions for 6 exercises • Type of exercise: resistance • Intensity: 75% of their theoretical 1-RM ≅ “moderate” • Duration: 45 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: reading • Duration: 45 min. 	TMT timing of administration not reported	RT	7/9
Chen et al. 2018	26 (f) / 19 (m) 57.67 ± 5.06y	Crossover	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 5 min. warm up, 10 min., 20 min. or 45 min. exercise, 5 min. cooldown • Type of exercise: aerobic • Intensity: 65–70% of HR reserve ≅ “vigorous” • Duration: 20 min., 30 min. or 55 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: reading • Duration: 30 min. 	Task Switching Test timing of administration not reported	RT (switch cost) accuracy	7/9
Coles et al. 2008	18 (f+m) 22,2 ± 1,6y	Crossover	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 5-min warm-up, 30- min period, 5-min cool-down period • Type of exercise: aerobic • Intensity: 30% → 60% → 30% of VO2max ≅ vigorous • Duration: 40 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: sitting • Duration: 40 min. 	Visual switch task 5 min. after exercise cessation	RT (switch cost)	5/9

Cordova et al. 2009	48 (f) 63.44 ± 1.08y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 5 min warm-up, 20 min exercise • Type of exercise: aerobic • Intensity: 60%,90% or 110% of the AT ≙ "light", "moderate" and "vigorous" • Duration: 25 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: passive • Description: sitting • Duration: 25 min. 	TMT 8 min. after exercise cessation	RT	7/9
Crush et al. 2017	239 (f) / 113 (m) 21.05 ± 0.21y	Crossover	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: running • Description: exercising on a treadmill • Type of exercise: aerobic • Intensity: 40% and 59% of HRR ≙ "moderate" • Duration: 10 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: passive • Description: no control treatment, baseline testing • Duration: / 	TMT 5 min, 15 min., or 30 min. after exercise cessation	RT	6/9
Douris et al. 2018	24 (f) / 14 (m) 23,7 ± 1,8y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: cycling on a Monarch 818E Lower Body Ergometer • Type of exercise: aerobic • Intensity: 60 to 70% of HRmax ≙ "vigorous" • Duration: 30 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: passive • Description: sitting • Duration: 30 min. 	TMT timing of administration not reported	RT	7/9
Frith et al. 2017	12 (f) / 10(m) 21,9 ± 2,4y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: jogging • Description: jog on treadmill, 5 min at self-selected intensity, 5 min at a self-selected faster pace, 5 min at a self-selected hard pace • Type of exercise: aerobic • Intensity: RPE of 11–12 → RPE of 13–15 → RPE of 16–20 ≙ "vigorous" • Duration: 15 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: passive • Description: sitting • Duration: 20 min. 	TMT timing of administration not reported	RT (switch cost)	7/9
Hwang et al. 2016	32 (f) / 26 (m) 23.59 ± 1.06y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: running • Description: running on a treadmill, 2-min warm up, 5-min increased speed to reach target HR, 10-min running at target HR, 3-min cool down. • Type of exercise: aerobic • Intensity: 85–90% VO2max ≙ "vigorous" • Duration: 20 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: passive • Description: sitting • Duration: 20 min. 	TMT 10 min. after exercise cessation	RT	7/9
Jaffery et al. 2018	64 (f) / 24 (m) 21.5 ± 0.5y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: walking • Description: walk at a self-selected brisk walking pace • Type of exercise: aerobic • Intensity: "light" • Duration: 5 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: passive • Description: sitting • Duration: 10 min. or 5 min. 	TMT 5 min. after exercise cessation	RT	7/9
Kujach et al. 2020	36 (m) 21,35 ± 0,5y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 5-min warm up at 1.5 Watts × kg⁻¹ of BM. interval exercise, six sets of 30 s of "all out" sprint cycling exercise. Flywheel resistance equaled 0.075 kG × kg⁻¹ of BM (i.e., Wingate test based) which corresponded to 7.5% of each individual's BM, interval rest periods between the 30-s bouts were 4 min and 30 s • type of exercise: aerobic • Intensity: >100% VO2max ≙ "vigorous" • Duration: till exhaustion 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: passive • Description: resting • Duration: not reported 	TMT 20 min. after exercise cessation	RT	7/9
Murray et al. 2012	60 (f) / 60 (m) 20.86 ± 0.27y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: pedal a stationary bike • type of exercise: aerobic • Intensity: mean HR intensity of 75.46 % (SD = 8.26) ≙ "vigorous" • Duration: 30 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: monitor and motivate other participants • Duration: 30 min. 	TMT timing of administration not reported	RT	6/9
Naderi et al. 2018	24 (f) / 24 (m) 63.58 ± 0.34y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: chest presses, shoulder presses, high pull-downs, rowing, alternating biceps curls, leg extensions, leg curls, and leg presses • Description: 5-10 min. warm-up with light aerobic activity and general stretching exercise, three sets of 10 repetitions. Rest intervals 30 s and 90 s. • Type of exercise: resistance • Intensity: 70% of 10-RM ≙ "light" • Duration: 45 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: watching video • Duration: 45 min. 	More-odd task 15 min. after exercise cessation	RT (switch cost) accuracy	5/9
Oberste et al. 2016	37 (f) / 84 (m) 23.92 ± 0.09y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 5 min. warm up while cycling at 25 W, constantly 70 rpm. Then increasing W until participants reached targeted HR range • Type of exercise: aerobic • Intensity: 45-50%, 65-70%, or 85-90% of HRmax. ≙ "light", "moderate" and "vigorous" • Duration: 35 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: active • Description: low level self-massage session using a foam roll guided by an experienced instructor • Duration: 35 min. 	TMT 10 min. after exercise cessation	RT	9/9
Schwarck et al. 2019	39 (m) 23,33 ± 3,23y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 30 min. treadmill cycling, 5 min. cooldown or 5 min warmup, five 2 min intervals, 5 min. cooldown • Type of exercise: aerobic • Intensity: 40–59% VO2max and 90% VO2max ≙ "moderate" and "vigorous" • Duration: 35 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: passive • Description: sitting • Duration: 10 min. 	TMT 10 min. after exercise cessation	RT	7/9

Slusher et al. 2018	13 (m) 23,62 ± 1,06y	RCT	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 10 min. warm-up at 50W on a cycle ergometer. Immediately following: low-volume, supramaximal HIIE. The HIIE protocol: ten maximal bouts of all out pedaling for 20- seconds against 5.5% of the subject's body weight, separated by a 10-s active rest period • Type of exercise: aerobic • Intensity: 170% of an individual's VO₂peak ≙ "vigorous" • Duration: 15 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: active • Description: low level self-massage session using a foam roll guided by an experienced instructor • Duration: 35 min. 	WCST immediately after exercise cessation	RT accuracy	4/9
Wu et al. 2019	17 (f) / 13 (m) 21.17 ± 1.32y	Crossover	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cycling • Description: 5 min. warm up, 20 min exercise, 5 min. cooldown • Type of exercise: aerobic • Intensity: 60-70% of HR reserve ≙ "moderate" • Duration: 30 min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modality: cognitive engagement • Description: reading • Duration: 30 min. 	Task Switching Test timing of administration not reported	RT (switch cost)	7/9
			<ul style="list-style-type: none"> • Modality: leg press, leg extension, chest press, chest fly, lateral pulldown, right bicep curl, and left bicep curl • Description: 5 min. warm-up, two sets of 8-12 repetitions for approximately 20 min • Type of exercise: resistance • Intensity: 70% of their 10 RM. ≙ "light", • Duration: 25 min. 				

Tabelle 7. Übersicht über alle in die Metaanalyse inkludierten Studien

4.3. Ergebnisse der primären Metaanalyse

Es ist zu beachten, dass negative standardisierte Mittelwertdifferenzen (SMDs) einen positiven Effekt der akuten körperlichen Aktivität (Intervention) im Vergleich zur Kontrollbehandlung darstellen, da sie eine Verringerung der für die Durchführung der Aufgabe benötigten Zeit widerspiegeln. Insgesamt wurden 35 Effektstärken stammend aus 22 Studien mit insgesamt 1.900 Probanden und Probandinnen in die Metaanalyse inkludiert. Ein geringer bis moderater positiver Effekt von akuter aerober sportlicher Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung konnte durch die Analyse festgestellt werden ($k = 35$, Hedges' $g = -0.32$, 95% CI -0.45 bis -0.18 , $p < 0.0001$). Außerdem konnte eine moderate Heterogenität zwischen den inkludierten Studien detektiert werden ($T^2 = 0.0715$, $I^2 = 46.4\%$), welche anhand des Q-Tests als statistisch signifikant bewertet werden kann ($p < 0.0016$), was die Annahme von Zufallseffekten unterstützt. Es konnten keine offensichtlichen Ausreißer identifiziert werden. Abbildung 16 zeigt den Forest Plot aller inkludierten Studien.

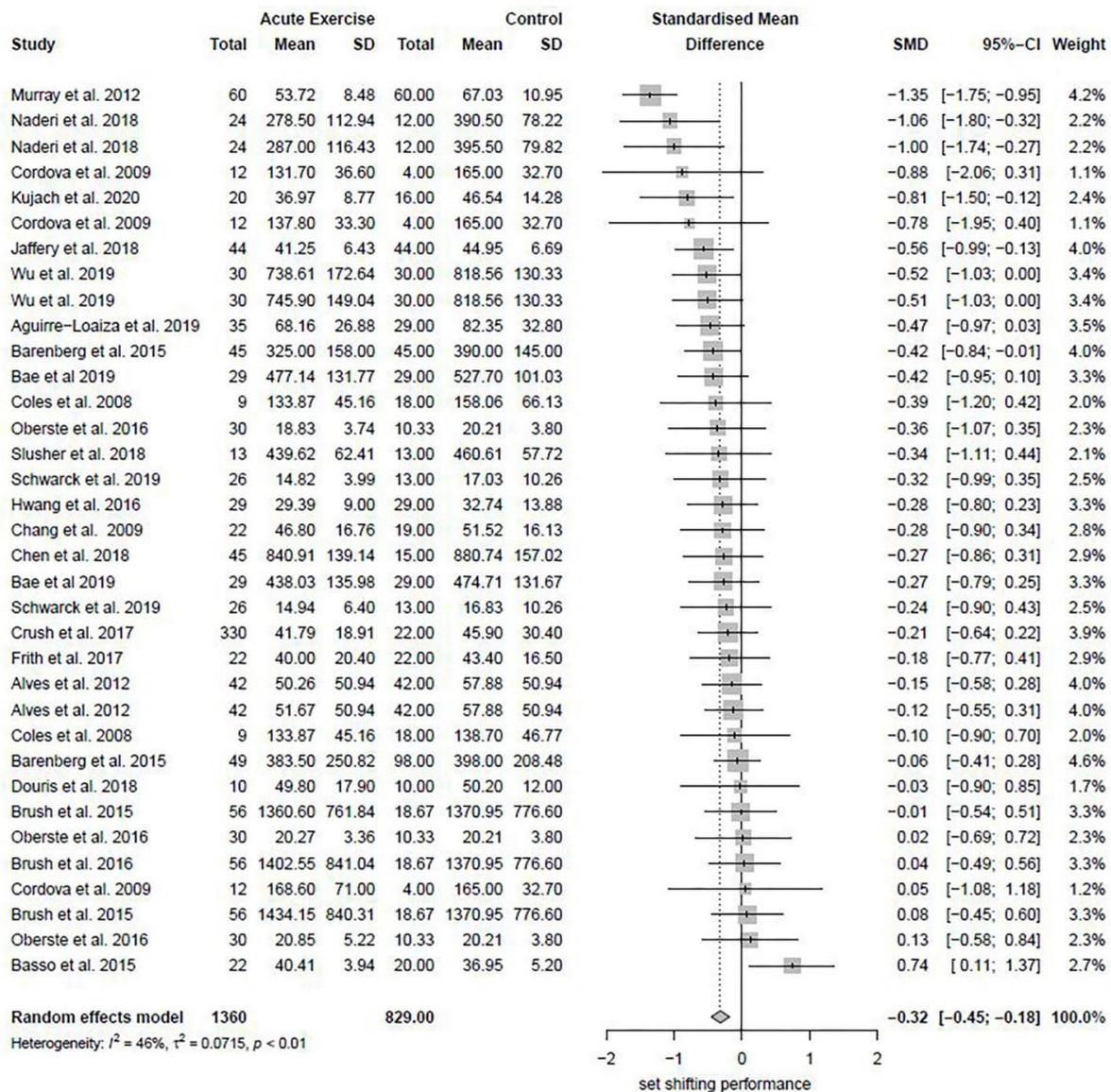


Abbildung 16. Forest Plot aller inkludierten Studien über den Effekt einer akuten körperlichen Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung

4.4. Sensitivitätsanalyse

Mindestens eine der eingeschlossenen Studien wurde als "hohes Bias Risiko" für die PEDro-Skalenpunkte "1) Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert", "4) Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich" und "11) Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome" eingestuft. Wurden die Studien, die entsprechend dem PEDro Skalenpunkt 1) unzureichend Ein- und Ausschlusskriterien spezifizierten und ein entsprechend hohes Bias Risiko aufwiesen, aus der Analyse ausgeschlossen, nahm der aggregierte Effekt nicht ab, während die Heterogenität im Vergleich zur initialen Analyse leicht anstieg ($k = 32$, Hedges' $g = -0.39$, 95% CI = -0.59 bis -0.18 , $p < 0.001$, $T2 = 0.2521$, $I2 = 75.5\%$). Exkludierte

man diejenigen Studien aus der Analyse ohne ausreichende Ähnlichkeit in Hinsicht der Gruppen und ihrer wichtigsten prognostischen Indikatoren entsprechend dem PEDro Skalenpunkt 4), stieg der Effekt erheblich an und es zeigte sich erneut eine gesteigerte Heterogenität ($k = 30$, Hedges' $g = -0.43$, 95% CI = -0.68 bis -0.23 , $p < 0.001$, $T^2 = 0.2931$, $I^2 = 77.5\%$). Wenn die Studien aus der Analyse exkludiert wurden, die entsprechend dem PEDro Skalenpunkt 11) keine Punkt- oder Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome angaben, fiel der aggregierte Effekt größer aus, während auch die Heterogenität zunahm ($k = 30$, Hedges' $g = -0,46$, 95% CI = $-0,68$ bis $-0,23$, $p < 0,001$, $T^2 = 0,2931$, $I^2 = 75,5\%$). Wurden alle Studien, die in mindestens einem Punkt der PEDro-Skala als "hohes Risiko der Verzerrung" eingestuft wurden, von der Analyse ausgeschlossen, stieg der aggregierte Effekt ebenso wie die Heterogenität an ($k = 21$, Hedges' $g = -0,52$, 95% CI = $-0,84$ bis $-0,19$, $p < 0,001$, $T^2 = 0,4476$, $I^2 = 81.1\%$).

4.5. Ergebnisse der Subgruppenanalyse

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht über die Subgruppenanalyse.

	k	Hedges' g	95% CI	Heterogeneity	Test for subgroup difference
Primary meta-analysis	35	-0.32	-0.45 to -0.18	$T^2 = 0.0715$, $I^2 = 46.4\%$	
EXERCISE INTENSITY:					
Light	7	-0.51	-0.83 to -0.19	$T^2 = 0.0742$, $I^2 = 37.8\%$	$Q_{\text{between}} = 1.83$, $df = 2$, $p = 0.4014$
Moderate	9	-0.24	-0.50 to -0.03	$T^2 = 0.0742$, $I^2 = 0\%$	
Vigorous	19	-0.29	-0.47 to -0.11	$T^2 = 0.0742$, $I^2 = 61.7\%$	
TYPE OF EXERCISE:					
Aerobic exercise	27	-0.32	-0.48 to -0.17	$T^2 = 0.0754$, $I^2 = 47.6\%$	$Q_{\text{between}} = 0.02$, $df = 1$, $p = 0.8977$
Resistance exercise	8	-0.30	-0.58 to -0.03	$T^2 = 0.0754$, $I^2 = 47.4\%$	
AGE GROUP:					
Young adults	26	-0.29	-0.44 to -0.13	$T^2 = 0.0764$, $I^2 = 23.1\%$	$Q_{\text{between}} = 0.60$, $df = 1$, $p = 0.4383$
Older adults	9	-0.42	-0.72 to -0.13	$T^2 = 0.0764$, $I^2 = 52.8\%$	
TYPE OF CONTROL GROUP:					
Active control group	6	-0.13	-0.46 to 0.20	$T^2 = 0.0742$, $I^2 = 0\%$	$Q_{\text{between}} = 1.49$, $df = 2$, $p = 0.4742$
Passive control group	13	-0.38	-0.62 to -0.14	$T^2 = 0.0742$, $I^2 = 0\%$	
Cognitive engaging control group	16	-0.34	-0.53 to -0.15	$T^2 = 0.0742$, $I^2 = 71.7\%$	

Tabelle 8. Übersicht über die Subgruppenanalyse.

k = Anzahl der Effektgrößen; Hedges' g = gepoolte Effektgröße; CI = Konfidenzintervall; df = Freiheitsgrade; p = Signifikanzniveau

4.5.1. Subgruppenanalyse für "Alter der Probanden und Probandinnen"

Insgesamt sechzehn der in diese Metanalyse inkludierten Studien untersuchten den Effekt einer einmaligen akuten körperlichen Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung bei jüngeren Erwachsenen (18-34 Jahre) ($k = 26$, Hedges' $g = -0,29$, 95% CI -0.44 bis -0.13 , $T^2 = 0.0764$, $I^2 = 23.1\%$). Im Gegensatz dazu untersuchten fünf Studien die Auswirkung von einer

einmaligen akuten körperlichen Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung bei älteren Erwachsenen (Alter > 35 Jahre) ($k = 9$, Hedges' $g = -0,42$, 95% CI $-0,72$ bis $-0,13$, $T2 = 0,0764$, $I2 = 52,8\%$). Der Forest Plot zu dieser Subgruppenanalyse ist in Abbildung 17 dargestellt. Der Unterschied zwischen den Auswirkungen beider Subgruppen erreichte keine statistische Signifikanz (Q -between = $0,60$, $df = 1$, $p = 0,4383$).

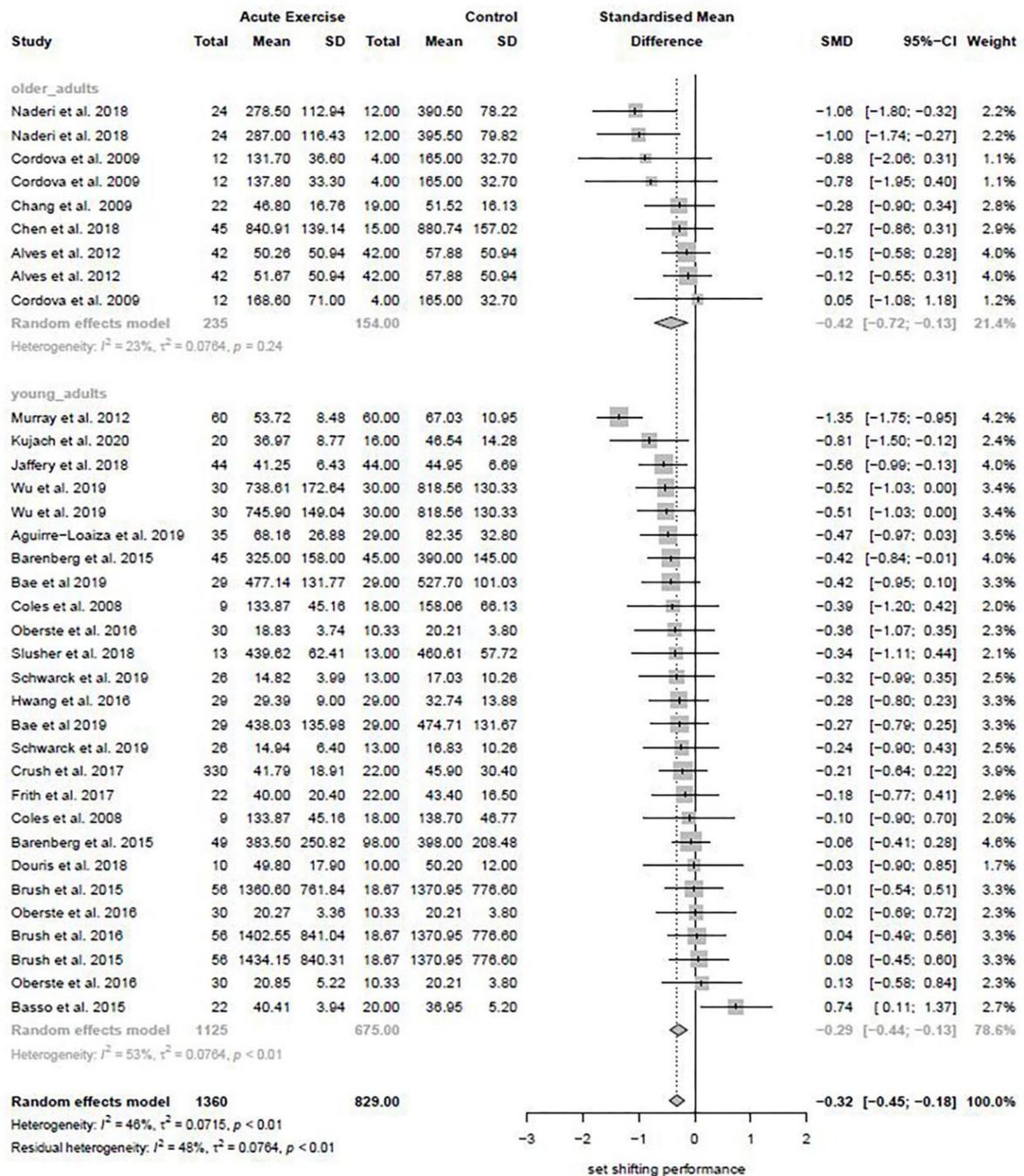


Abbildung 17. Forest Plot Subgruppenanalyse "Alter der Probanden und Probandinnen "

4.5.2. Subgruppenanalyse für "Trainingsmodalität"

In neunzehn eingeschlossenen Studien führten die Probanden und Probandinnen eine akute aerobe Aktivität durch (k = 27, Hedges' g = -0,32, 95% CI -0,48 bis -0,17, T2 = 0,0754, I2 = 47,6%), während in vier Studien die Probanden und Probandinnen einem akuten Krafttraining unterzogen wurden (k = 8, Hedges' g = -0,30, 95% CI -0,58 bis -0,03, T2 = 0,0754, I2 = 47,4%). Der Forest Plot zu dieser Subgruppenanalyse ist in Abbildung 18 dargestellt. Die erreichten Effekte beider Subgruppen unterschieden sich nicht statistisch signifikant voneinander (Q-between = 0,02, df = 1, p = 0,8977)

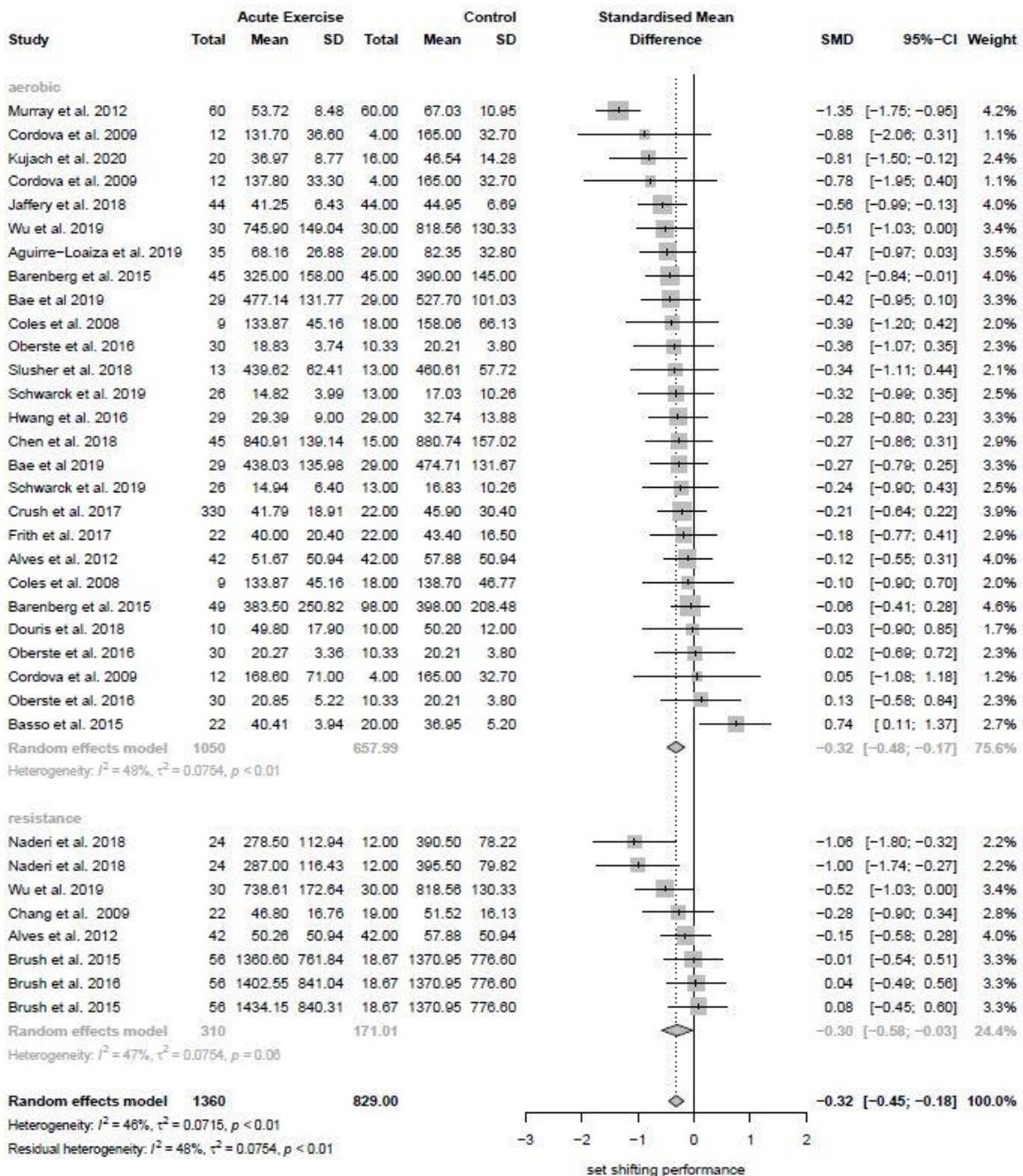


Abbildung 18. Forest Plot Subgruppenanalyse "Trainingsmodalität"

4.5.3. Subgruppenanalyse für "Trainingsintensität"

Sechs Studien untersuchten die Auswirkungen einer leichten Trainingsintensität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung ($k = 7$, Hedges' $g = -0,51$, 95% CI $-0,83$ bis $-0,19$, $T_2 = 0,0742$, $I^2 = 37,8\%$). In acht Studien absolvierten die Teilnehmer vor der Messung der Set Shifting Leistung ein Training mit moderater Intensität ($k = 9$, Hedges' $g = -0,24$, 95% CI $-0,50$ bis $0,03$, $T_2 = 0,0742$, $I^2 = 0\%$). Neunzehn Studien investigierten den Effekt einer hohen Trainingsintensität auf die anschließende Set Shifting Leistung ($k = 19$, Hedges' $g = -0,29$, 95% CI $-0,47$ bis $-0,11$, $T_2 = 0,0742$, $I^2 = 61,7\%$). Der Forest Plot zu dieser Subgruppenanalyse ist in Abbildung 19 dargestellt. Es wurde kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Effekten der verschiedenen Subgruppen festgestellt (Q -between = $1,83$, $df = 2$, $p = 0,4014$).

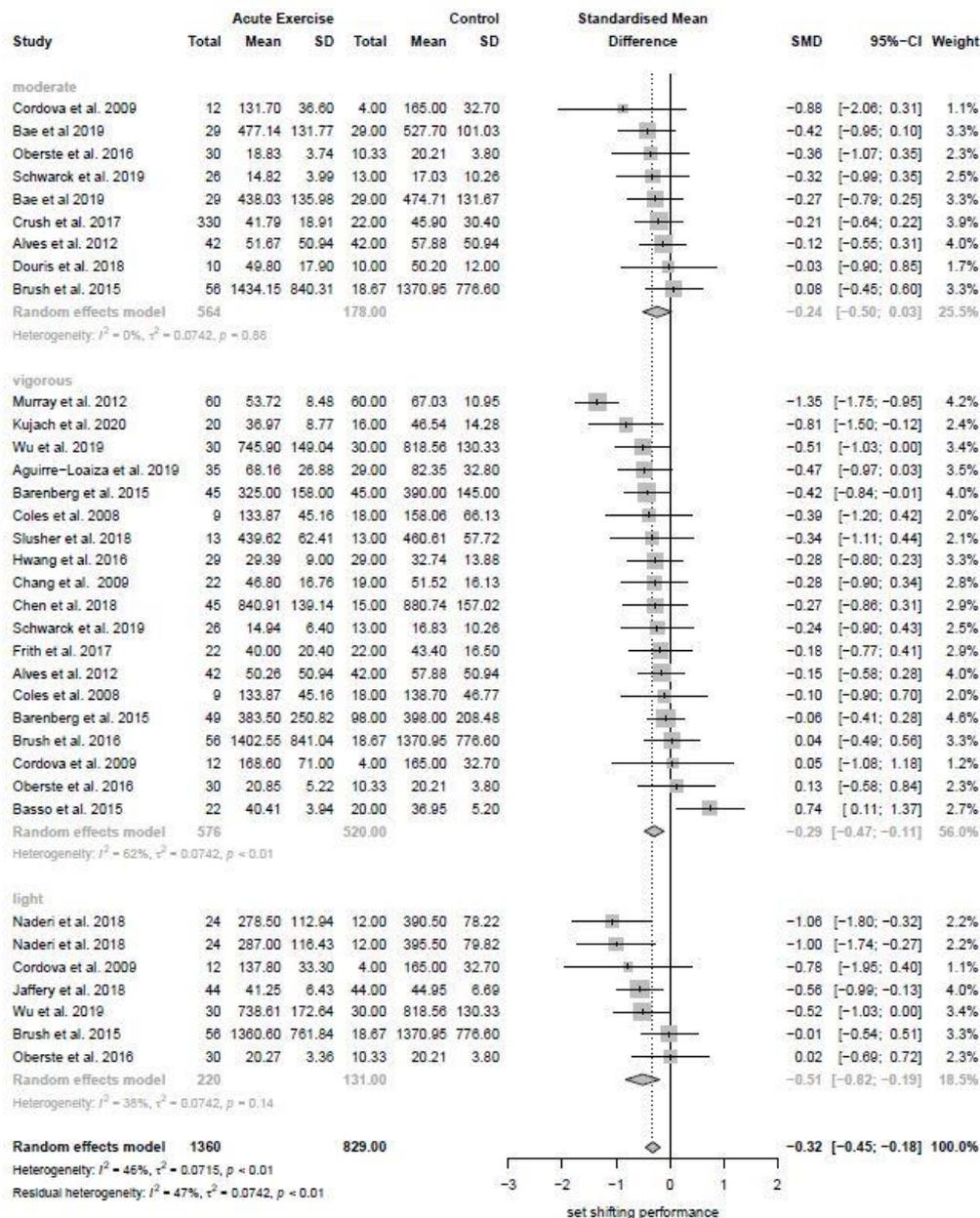


Abbildung 19. Forest Plot Subgruppenanalyse "Trainingsintensität"

4.5.4. Subgruppenanalyse für "Art der Kontrollgruppe"

Drei der in diese Metaanalyse einbezogenen Studien entschieden sich für eine körperlich aktive Kontrollgruppe als Vergleichsmaßstab für die akute Interventionsbedingung (k = 6, Hedges' g = -0,13, 95% CI -0,46 bis 0,20, T2 = 0,0742, I2 = 0%). Zwölf Studien verwendeten eine kognitiv beanspruchende Kontrollbehandlung (k=16, Hedges' g = -0,34, 95% CI -0,53 bis -0,15, T2 = 0,0742, I2 = 71.7%). Neun Studien verglichen die akute Interventionsbedingung mit einer körperlich inaktiven und daher passiven Kontrollbehandlung (k=13, Hedges' g = -0,38, 95% CI -0,62 bis -0,14, T2 = 0,0742, I2 = 0%). Der Forest Plot zu dieser Subgruppenanalyse ist in Abbildung 20 dargestellt. Der Unterschied zwischen den gemessenen Effekten der Subgruppen war statistisch nicht signifikant (Q-between = 1,49, df = 2, p = 0.4742).

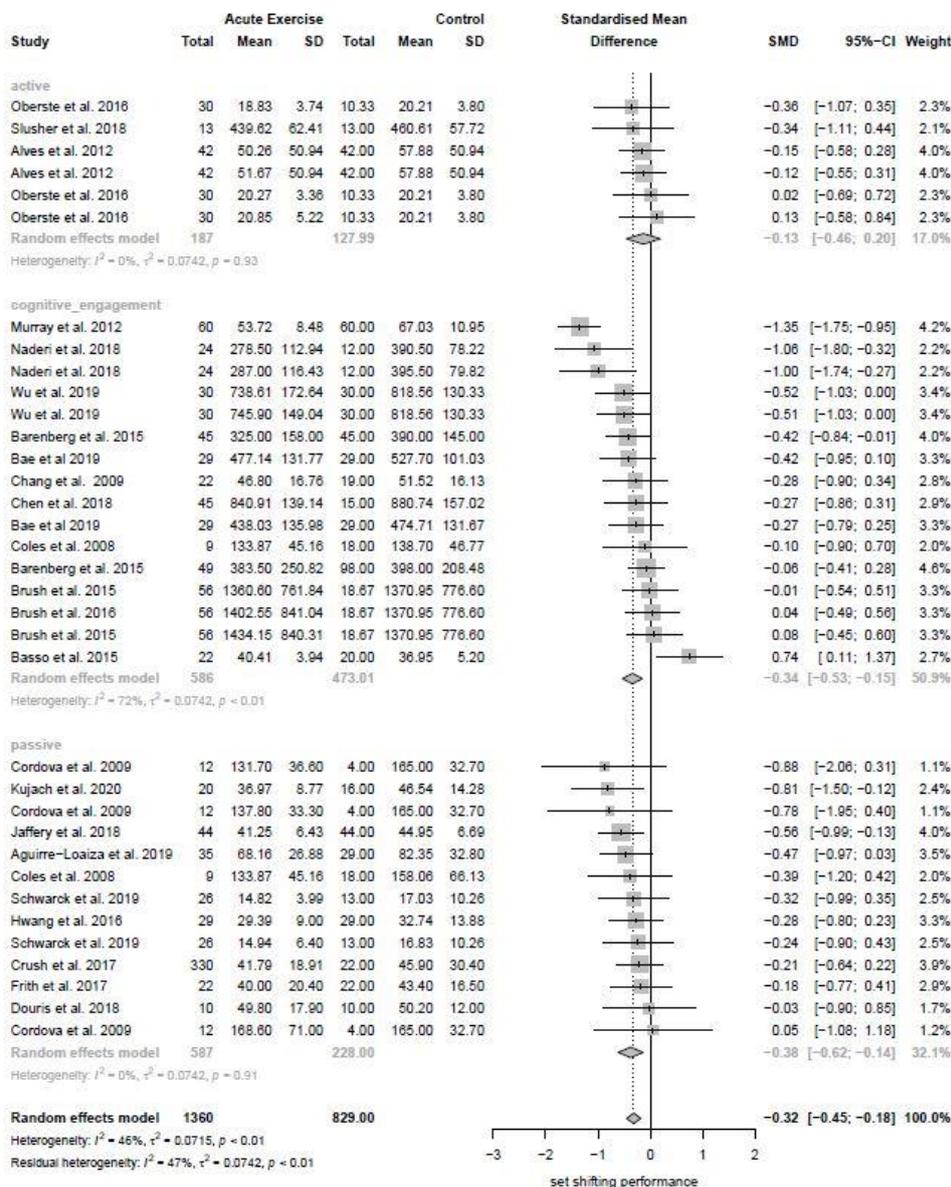


Abbildung 20. Forest Plot Subgruppenanalyse "Art der Kontrollgruppe"

5. Diskussion

Die Meta-Analyse zeigte signifikante gering bis moderate Auswirkungen von akuter körperlicher Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung bei gesunden Erwachsenen ($g = -0,32$). Ob der geringe bis moderate Zeitgewinn beim Wechsel zwischen zwei Aufgaben von praktischer Relevanz ist, ist jedoch schwierig zu beurteilen. In besonderen Situationen, in denen eine schnelle Set Shifting Leistung erforderlich ist, beispielsweise im professionellen E-Sport, könnte selbst ein kleiner Geschwindigkeitsvorteil einen entscheidenden Unterschied machen. Im Kontext des durchschnittlichen Arbeitsalltages, beispielsweise in einem Büro, werden diese trainingsinduzierten Vorteile kaum eine spürbare Verbesserung erreichen. Die zusätzlich durchgeführten Sensitivitätsanalysen zeigen, dass dieser Effekt wahrscheinlich nicht auf eine Verzerrung einzelner Studien zurückzuführen ist. Dennoch interessant hervorzuheben ist die in der Metaanalyse inkludierte Studie von Basso et al.²⁰, da diese sowohl im Overall Forrest Plot als auch in den Forrest Plots der Subgruppenanalysen im direkten Vergleich zu den anderen inkludierten Studien deutlich in die Richtung eines negativen Einflusses einer akuten körperlichen Aktivität auf nachfolgende Set Shifting Leistungen abweicht. Mögliche Ursachen worauf dies zurückzuführen sein könnte ist eine vergleichsweise längere Dauer der körperlichen Aktivität in hoher Intensität von 60 min., sowie vergleichsweise kleine Strichprobengrößen von lediglich jeweils 11 Probanden und Probandinnen pro Interventions- und Kontrollgruppe.

Darüber hinaus untersuchte diese Meta-Analyse den Einfluss von potenziellen Moderatoren auf den Effekt akuter sportlicher Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung. Eine vorausgegangene leichte Trainingsintensität zeigte einen moderaten Effekt auf die nachfolgende Set Shifting Leistung ($g = -0,51$). Wurde eine Aktivität mit mittlerer ($g = -0,24$) oder starker Trainingsintensität ($g = -0,29$) durchgeführt, zeigte dies jedoch nur einen geringen bis moderaten Effekt. Dieses Ergebnis lässt sich möglicherweise durch die unterschiedlichen physiologischen Reaktionen auf akutes Training bei leichter, moderater oder starker Intensität erklären. Moderates und starkes Training führt zu größerer Müdigkeit und Dehydrierung, welche sich vermutlich nachteilig auf die kognitiven Leistungen auswirken¹³⁴. Die Ergebnisse bestehender Metaanalysen, die die Auswirkungen der Trainingsintensität auf die Exekutive Funktionen untersuchen, sind uneinheitlich. Im Gegensatz zu der Analyse dieser Arbeit zeigten McMorris und Hale (2012) eine größere Verbesserung der Inhibition, des Arbeitsgedächtnisses und Set-Shifting-Leistungen nach einer Trainingseinheit mit moderater Intensität als bei leichter oder starker Intensität⁸⁰. Im Gegensatz hierzu konnten Loprinzi und Kane (2015) keine Unterschiede zwischen einer leichten, mäßigen oder kräftigen Trainingsintensität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung nachweisen⁸⁶. Während es unklar blieb, welche Trainingsintensität gewählt werden sollte, um die höchste Verbesserung kognitiver Leistungen im Allgemeinen zu erreichen, legt diese Meta-Analyse nahe, dass eine

leichte Trainingsintensität zu der höchsten Steigerung der anschließenden Set Shifting Leistung führt.

Der Vergleich einer einzelnen aeroben Trainingseinheit mit einer Einheit Krafttraining führte zu nahezu identischen positiven Auswirkungen auf die anschließende Set Shifting Leistung. Sowohl akutes aerobes Training ($g = -0,32$) als auch Krafttraining ($g = -0,30$) haben beide einen geringen bis moderaten positiven Effekt auf die nachfolgende Set-Shifting-Leistung. Dies indiziert, dass die zuvor erwähnten Unterschiede hinsichtlich der körperlichen Anforderungen keine entscheidende Rolle dabei zu spielen scheinen, inwieweit die einzelnen Trainingsarten Einfluss auf die Set Shifting Leistung nehmen. Daher liegt der Schwerpunkt auf den körperlichen Auswirkungen, die beide Arten von Training gemeinsam haben. Beides führt zu einem Anstieg des zerebralen Blutflusses, von dem angenommen wird, dass er die Beseitigung von Abfallprodukten erleichtert und benötigte metabolische Stoffwechselressourcen zur Verfügung stellt. Bereits bestehende Studien unterstützen die Idee, dass diese Effekte die kognitive Verarbeitung fördern^{135,136}. Außerdem führen beide Trainingsarten zu einer Freisetzung von Katecholaminen, welche einen Einfluss auf die Set Shifting Leistung^{137,138} und das Arbeitsgedächtnis¹³⁹ zu haben scheinen. Jedenfalls zeigt sich fast kein Unterschied im Ausmaß des Effektes beider Trainingsarten auf die anschließende Set Shifting Leistung.

Auch wenn statistisch nicht signifikant, zeigten die Ergebnisse, dass ältere Erwachsene ($g = -0,42$) deutlich mehr von einer akuten Trainingseinheit profitieren als jüngere Erwachsene ($g = -0,29$). Eine mögliche Erklärung für diese Differenz im Effekt könnten unterschiedliche Ausgangsleistungen zwischen jungen und älteren Erwachsenen sein. Bisherige Studien haben gezeigt, dass sich akutes Training am deutlichsten auf exekutive Funktionen, insbesondere auf Inhibition und Arbeitsgedächtnis, von Personen mit niedriger kognitiver Ausgangsleistung auswirkt^{60,61}. Laut Zelazo et al. (2004) gibt es einen "rise and fall", übersetzt "Anstieg und Abfall", der Exekutiven Funktion über die Lebenszeit der Menschen, welcher eine Spitzenleistung im jungen Erwachsenenalter und eine entsprechend niedrigere Leistung im höheren Alter indiziert⁵⁹. Ein möglicher Grund für die geringere Steigerung der Set Shifting Leistung nach einer akuten körperlichen Aktivität bei jüngeren Erwachsenen ist das Auftreten eines sogenannten "ceiling effect", übersetzt Höchstwerteffekt. Da angenommen wird, dass die kognitive Leistung in der Altersgruppe der jungen Erwachsenen ihren Höhepunkt erreicht⁵⁹, scheint es hier weniger Raum für Verbesserung zu geben⁶²⁻⁶⁴. Die Ergebnisse dieser Metaanalyse im Hinblick auf das Alter der Probanden und Probandinnen standen im Einklang mit den soeben genannten Aussagen bezüglich der kognitiven Leistungsfähigkeit im Allgemeinen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass diese auch für die spezifische Subdomäne Set Shifting gelten.

Eine einmalige körperliche Aktivität führte zu einer moderat höheren Set Shifting Leistung im Vergleich zu passiven ($g = -0,38$) oder kognitiv engagierten ($g = -0,34$) Kontrollgruppen. Im Gegensatz dazu gab es nur eine sehr geringe Verbesserung, wenn das akute Training mit aktiven Kontrollgruppen ($g = -0,13$) verglichen wurde. Diese Unterschiede in den Effektenstärken der jeweiligen Subgruppen könnten durch das mögliche Auftreten eines Placeboeffekts erklärt sein. In Studien, welche die Wirkung von akuter körperlicher Aktivität untersuchen, sind sich die Teilnehmer der körperlichen Anforderungen, denen sie ausgesetzt sind, bewusst. Daher ist es wahrscheinlich, dass die Teilnehmer der aktiven Kontrollgruppe glauben, dass sie Teil der experimentellen Bedingung sind, was die Erwartungen an den kognitiven Nutzen zwischen der experimentellen und der Kontrollgruppe erhöht. Umgekehrt ist es für die Teilnehmer der passiven Kontrollgruppe wahrscheinlicher, dass sie erkennen, dass sie Teil der Kontrollbedingung sind. Dementsprechend sind Unterschiede in den Erwartungen an den kognitiven Nutzen zwischen den experimentellen und den passiven bzw. kognitiv engagierten Kontrollgruppen erkennbar. Erwartungen spielen eine zentrale Rolle beim Placebo-Effekt ¹⁴⁰. Die Ergebnisse der vorliegenden Metaanalyse deuten darauf hin, dass das Ausmaß der Wirkung von akutem Training auf die Set Shifting Leistung aufgrund des Placebo-Effekts überschätzt werden könnte. Es ist jedoch auch zu beachten, dass die Verwendung eines Placebos oder einer aktiven Kontrollgruppe in einer Studie auch zu geringeren Wirkungen in Behandlungsgruppen führen kann. Negative Erwartungen der Teilnehmer aufgrund der Chance, das Placebo zu erhalten, sind dafür verantwortlich. Dieser Effekt wird als "Lessebo-Effekt" bezeichnet ¹⁴¹.

Trotz dieser Unterschiede in den Effektstärken der einzelnen Subgruppen konnte keines dieser Ergebnisse eine statistische Signifikanz erreichen. Dies könnte auf die geringe Anzahl der eingeschlossenen Effektstärken (35 Effektstärken aus 22 Studien) und der daraus resultierenden niedrigen statistischen Power zurückzuführen sein und schränkt dadurch die Verallgemeinerbarkeit der hier erzielten Ergebnisse ein.

Die hier vorgestellten Ergebnisse müssen vor dem Hintergrund von gewissen Limitationen interpretiert werden. Die Ergebnisse dieser Metaanalyse sind nur innerhalb der Grenzen der angegebenen Ein- und Ausschlusskriterien valide. Außerdem war diese Metaanalyse nicht dazu in der Lage zwischen der lokalen und globalen "switch cost" als separatem primären Endpunkt zu unterscheiden, da nur drei der 22 eingeschlossenen Studien (Coles and Tomporowski, 2008; Barenberg et al., 2015; Naderi et al., 2018) eine Variation des „Task-Switching Paradigmas“ als neuropsychologischen Test anwandten und zwischen lokaler und globaler "switch cost" differenzierten, sodass eine quantitative Analyse nicht möglich war. Zukünftige Studien in diesem Gebiet sollten vermehrt neuropsychologische Tests anwenden, um eine Unterscheidung zwischen der lokalen und globalen "switch cost" und somit weitere

Erkenntnisse in diesem wissenschaftlichen Bereich zu ermöglichen. Eine weitere Einschränkung besteht in dem Fakt, dass die Subgruppenanalyse dieser Metaanalyse auf Beobachtungen beruht. Die Randomisierung der Probanden und Probandinnen in den jeweiligen Studien war initial nicht darauf ausgelegt zwischen Subgruppen zu differenzieren, diese sind erst im Rahmen dieser Analyse definiert worden. Demnach können systematische Unterschiede zwischen den Subgruppen hinsichtlich anderer weiterer Faktoren außerhalb der Subgruppendefinition nicht ausgeschlossen werden. Mehrere der inkludierten Studien führten die neuropsychologische Testung der Set Shifting Leistung wiederholt in verschiedenen Zeitintervallen nach Beendigung der körperlichen Aktivität durch. Um Doppelzählungen und entsprechende Fehler in der Analyse zu vermeiden, wurden diese multiplen Behandlungsarme nach den Empfehlungen von Higgins und Deeks (2011) zu einem einzigen Vergleich zusammengefasst ¹²⁵. Hierdurch konnte die vorliegende Metaanalyse den Einfluss der unterschiedlichen Zeitintervalle der Testdurchführung auf die Set Shifting Leistung nicht ausreichend untersuchen. Zukünftige Studien sollten systematisch die Beeinflussung durch den Zeitpunkt der Testausführung investigieren. Diese Metaanalyse gibt keinen endgültigen Aufschluss über die interne Validität der Forschung über den Effekt einer akuten sportlichen Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung bei gesunden Erwachsenen. Der potenzielle Einfluss durch verbreitete methodische Mängel hinsichtlich der PEDro Kriterien der verborgenen Gruppenzuordnung sowie Verblindung der die Intervention durchführenden Therapeuten und Therapeutinnen bleibt unklar. Zukünftige Metaanalysen sollten den moderierenden Einfluss dieser Faktoren untersuchen. Außerdem sollten sie einen höheren methodischen Standard anwenden, um ihre interne Validität zu steigern. Außerdem übersteigt eine zwei- oder mehrfaktorige Analyse, die potenzielle Interaktionseffekte zwischen den Moderatorvariablen untersucht, den Rahmen dieser Arbeit. Zudem schränken mangelnde theoriegeleitete Ansätze zu den Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die Kognition Fortschritte in diesem Forschungsbereich ein.

Obwohl vielversprechende neurobiologische Faktoren untersucht werden, sind die zugrundeliegenden neurobiologischen Mechanismen sind weiterhin größtenteils unklar. Hinsichtlich der neuronalen Grundlagen zeigen sich in Aktivitäten, die Set Shifting erfordern, sowohl hauptsächlich der präfrontale Kortex, der frontoparietale Kortex sowie die Basalganglien beansprucht ¹⁵. Vor allem dem präfrontalen Kortex werden in Zusammenhang mit Dopamin eine wichtige Rolle in der kognitiven Handlungssteuerung zugeschrieben ¹⁴². Bereits im Jahr 1996 konnte Goldman-Rakic dopaminerge Neurone am präfrontalen Kortex nachweisen ¹⁴³. Laut der Hypothese von Miller und Cohen (2001) kann eine Freisetzung von Dopamin, beispielsweise durch Belohnung oder neuer Reize, die Aufnahme neuer Informationen im präfrontalen Kortex und hierdurch alternative Handlungen ermöglichen, was sich positiv auf die kognitive Flexibilität auswirken könnte ¹⁴². Unterstützt wird diese Hypothese

durch Studien, welche in Probanden und Probandinnen mit genetischen Unterschieden, beispielsweise durch eine erhöhte Exprimierung von Catechol-O-Methyltransferase (COMT), welches als Enzym für den Abbau von Dopamin abhängig ist, eine reduzierte kognitive Flexibilität zeigen konnten ^{144,145}. Auch schnitten an Schizophrenie erkrankte Menschen, bei denen eine verminderte Dopaminaktivität im präfrontalen Kortex vermutet wird, beispielsweise im WCST deutlich schlechter ab ¹⁴⁴. Allerdings kann Dopamin abhängig von beteiligten Synapsen, Neuronen und dem Zielgebiet deutliche Unterschiede in seiner Wirkung aufweisen ¹⁴⁶. Bei Dopamin handelt es sich nämlich um einen Neuromodulator, es hat also einen Einfluss auf andere Neurotransmitter oder Neurone, ist jedoch selbst nicht an der Reizweiterleitung beteiligt ¹⁴⁶. Dopamin kann beispielsweise im präfrontalen Kortex die Erregbarkeit der Pyramidenneuronen beeinflussen, indem es bereits aktive Neurone leichter erregbar werden lässt und die Erregbarkeit nicht aktiver Neurone reduziert ¹⁴⁶. Jedoch ist die Wirkung maßgeblich abhängig von dem Rezeptor, an dem Dopamin wirkt. Beispielsweise wird die Freisetzung eines hemmenden Neurotransmitters namens GABA über den präsynaptischen D1-Rezeptor gefördert, andersherum über den D2-Rezeptor gehemmt ¹⁴⁶. An welchem Rezeptor Dopamin letztlich wirkt, ist laut der Hypothese von Trantham-Davidson (2004) eine Frage der Dopaminkonzentration ¹⁴⁷. Führt man sich dieses durchaus komplexe und zuletzt nicht komplett verstandene System vor Augen, wird klar, dass eine prädiktive Vorhersage wie, wann, und ob überhaupt das dopaminerge System im präfrontalen Kortex Set Shifting Leistungen beeinflussen kann, durchaus schwierig zu treffen ist. Ein tieferes Verständnis dieser Mechanismen ist wichtig für präzisere Hypothesen, welche Aspekte der Kognition von körperlicher Aktivität beeinflusst werden können oder sogar immun gegen diese sind. Da das Verständnis über die biologischen Prozesse, die für Veränderungen der exekutiven Funktionen verantwortlich sind, limitiert ist, mag dies die Wissenschaft dazu ermutigen diese zugrundeliegenden Mechanismen zu erforschen.

Schließlich hat sich diese Metaanalyse lediglich auf die Auswirkungen einer akuten körperlichen Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung fokussiert. Längerfristige Trainingsinterventionen führen wahrscheinlich zu ausgeprägteren positiven Effekten, da sie aus wiederholten akuten Interventionen bestehen. Zukünftige Metaanalysen sollten sich sowohl auf akute als auch auf längerfristige körperliche Aktivitäten konzentrieren und die zugrundeliegenden neurobiologischen Mechanismen untersuchen.

6. Literaturverzeichnis

- 1 Oberste M, Sharma S, Bloch W, Zimmer P. Acute Exercise-Induced Set Shifting Benefits in Healthy Adults and Its Moderators: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Psychol*. 2021; **12**. DOI:10.3389/fpsyg.2021.528352.
- 2 Mathews DK, Fox EL. The physiological basis of physical education and athletics. 1976; : xvi, 577 p.
- 3 Tomporowski PD, Ellis NR. Effects of exercise on cognitive processes: A review. *Psychol Bull* 1986; **99**: 338–46.
- 4 Chang Y, Alderman BL, Chu C, Wang C, Song T, Chen F. Acute exercise has a general facilitative effect on cognitive function: A combined ERP temporal dynamics and BDNF study. *Psychophysiology* 2017; **54**: 289–300.
- 5 Kamijo K, Hayashi Y, Sakai T, Yahiro T, Tanaka K, Nishihira Y. Acute effects of aerobic exercise on cognitive function in older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 2009; **64**: 356–63.
- 6 Chang YK, Labban JD, Gapin JI, Etnier JL. The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res* 2012; **1453**: 87–101.
- 7 Audiffren M, Tomporowski PD, Zagrodnik J. Acute aerobic exercise and information processing: Energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychol (Amst)* 2008; **129**: 410–9.
- 8 Pontifex MB, Hillman CH, Fernhall B, Thompson KM, Valentini TA. The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory. *Med Sci Sports Exerc* 2009; **41**: 927–34.
- 9 Coles K, Tomporowski PD. Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *J Sports Sci* 2008; **26**: 333–44.
- 10 Lezak MD, Howieson DB, Loring DW, Fischer JS. Neuropsychological assessment. Oxford University Press, USA, 2004.
- 11 Schneider F. Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie. 2013 DOI:10.1007/978-3-642-29800-4.
- 12 Verburch L, Königs M, Scherder EJA, Oosterlaan J. Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: A meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2014. DOI:10.1136/bjsports-2012-091441.
- 13 Chang Y-K, Tsai C-L, Huang C-C, Wang C-C, Chu I-H. Effects of acute resistance exercise on cognition in late middle-aged adults: general or specific cognitive improvement? *J Sci Med Sport* 2014; **17**: 51–5.
- 14 Tsai CL, Pan CY, Chen FC, Wang CH, Chou FY. Effects of acute aerobic exercise on a task-switching protocol and brain-derived neurotrophic factor concentrations in young adults with different levels of cardiorespiratory fitness. *Exp Physiol* 2016; **101**: 836–50.
- 15 Mandonnet E, Herbet G. Intraoperative Mapping of Cognitive Networks: Which Tasks for Which Locations. Springer International Publishing, 2021 DOI:10.1007/978-3-030-75071-8.
- 16 Murray NP, Russoniello C. Acute physical activity on cognitive function: a heart rate variability examination. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2012; **37**: 219–27.
- 17 Naderi A, Shaabani F, Esmaeili A, Salman Z, Borella E, Degens H. Effects of low and moderate acute resistance exercise on executive function in community-living older adults. *Sport Exerc Perform Psychol* 2018; published online Oct 1. DOI:10.1037/spy0000135.
- 18 Jaffery A, Edwards MK, Loprinzi PD. The effects of acute exercise on cognitive function: Solomon experimental design. *J Prim Prev* 2018; **39**: 37–46.

- 19 Frith E, Sng E, Loprinzi PD. Randomized controlled trial evaluating the temporal effects of high-intensity exercise on learning, short-term and long-term memory, and prospective memory. *Eur J Neurosci* 2017; **46**: 2557–64.
- 20 Basso JC, Shang A, Elman M, Karmouta R, Suzuki WA. Acute Exercise Improves Prefrontal Cortex but not Hippocampal Function in Healthy Adults. *Journal of the International Neuropsychological Society* 2015; **21**: 791–801.
- 21 Mattli J, Knirsch U, Klesse R, Vuilleumier-Koch D, Vorstandsmitglieder Der Hippokratischen S, Schweiz G. Zur Bedeutung des Hippokratischen Eides in der heutigen Zeit. www.hippokrates.ch. (Zuletzt abgerufen am 26.08.2024)
- 22 Müri W. Der Hippokratische Eid. Übersetzung aus dem Griechischen. <https://hippokrates.ch/wp-content/uploads/hippokratischer-eid-uebersetzung-walter-mueri.pdf> (Zuletzt abgerufen am 26.08.2024)
- 23 Blümle A, Meerpohl JJ, Wolff R, Antes G. Evidenzbasierte Medizin und systematische Übersichtsarbeiten. *Der MKG-Chirurg* 2009; **2**: 86–92.
- 24 Mensink G. Bundes-Gesundheitssurvey: körperliche Aktivität aktive Freizeitgestaltung in Deutschland. 2003.
- 25 Muster MRZ and RZ. Bewegung und Gesundheit: gesicherte Effekte von körperlicher Aktivität und Ausdauertraining. Springer Science & Business Media, 2006.
- 26 Endo K, Matsukawa K, Liang N, et al. Dynamic exercise improves cognitive function in association with increased prefrontal oxygenation. *J Physiol Sci* 2013; **63**: 287–98.
- 27 Schmolesky MT, Webb DL, Hansen RA. The effects of aerobic exercise intensity and duration on levels of brain-derived neurotrophic factor in healthy men. *J Sports Sci Med* 2013.
- 28 Chmura J, Nazar K, Kaciuba-Uściłko H. Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *Int J Sports Med* 1994; **15**: 172–6.
- 29 Yanagisawa H, Dan I, Tsuzuki D, et al. Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *Neuroimage* 2010; **50**: 1702–10.
- 30 Dalsgaard MK, Quistorff B, Danielsen ER, Selmer C, Vogelsang T, Secher NH. A reduced cerebral metabolic ratio in exercise reflects metabolism and not accumulation of lactate within the human brain. *Journal of Physiology* 2004. DOI:10.1113/jphysiol.2003.055053.
- 31 Röthlisberger M, Neuenschwander R, Michel E, Roebbers CM. Exekutive Funktionen: Zugrundeliegende kognitive Prozesse und deren Korrelate bei Kindern im späten Vorschulalter. *Z Entwicklungspsychol Pädagog Psychol* 2010; **42**: 99–110.
- 32 Banich MT. Executive function: The search for an integrated account. *Curr Dir Psychol Sci* 2009; **18**: 89–94.
- 33 Meyer DE, Kieras DE. A Computational Theory of Executive Cognitive Processes and Multiple-Task Performance: Part 2. Accounts of Psychological Refractory-Period Phenomena. *Psychol Rev.* 1997; **104**: 749–91.
- 34 Norman DA, Shallice T. Attention to Action: Willed and Automatic Behaviour. 1980.
- 35 Miller HV, Barnes JC, Beaver KM. Self-control and health outcomes in a nationally representative sample. *Am J Health Behav* 2011; **35**: 15–27.
- 36 Taylor Tavares JV, Clark L, Cannon DM, Erickson K, Drevets WC, Sahakian BJ. Distinct Profiles of Neurocognitive Function in Unmedicated Unipolar Depression and Bipolar II Depression. *Biol Psychiatry* 2007; **62**: 917–24.
- 37 Bailey CE. Cognitive Accuracy and Intelligent Executive Function in the Brain and in Business. *Ann N Y Acad Sci* 2007; **1118**: 122–41.
- 38 Borella E, Carretti B, Pelegrina S. The Specific Role of Inhibition in Reading Comprehension in Good and Poor Comprehenders. *J Learn Disabil* 2010; **43**: 541–52.

- 39 Diamond A. All or None Hypothesis: A Global-Default Mode That Characterizes the Brain and Mind. *Dev Psychol* 2009; **45**: 130–8.
- 40 Davidson MC, Amso D, Anderson LC, Diamond A. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia* 2006. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006.
- 41 Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cogn Psychol* 2000; **41**: 49–100.
- 42 Gotham AM, Brown RG, Marsden CD. ‘FRONTAL’ COGNITIVE FUNCTION IN PATIENTS WITH PARKINSON’S DISEASE ‘ON’AND ‘OFF’ LEVODOPA. *Brain* 1988; **111**: 299–321.
- 43 Cools R. Mechanisms of cognitive set flexibility in Parkinson’s disease. *Brain* 2001. DOI:10.1093/brain/124.12.2503.
- 44 Pa J, Possin KL, Wilson SM, *et al.* Gray matter correlates of set-shifting among neurodegenerative disease, mild cognitive impairment, and healthy older adults. 2010; **16**: 640–50.
- 45 Senn TE, Espy KA, Kaufmann PM. Using path analysis to understand executive function organization in preschool children. *Dev Neuropsychol* 2004; **26**: 445–64.
- 46 Bierman et al. Executive functions and school readiness intervention: Impact, moderation, and mediation in the Head Start REDI program. *Behav Disord* 2012; **23**: 1–7.
- 47 Jersild AT. Mental set and shift. *Archives of Psychology* 1927. DOI: not indicated.
- 48 Spector A, Biederman I. Mental Set and Mental Shift Revisited. *Am J Psychol* 1976; **89**: 669–79.
- 49 Allport DA, Styles EA, Hsieh S. Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In: Attention and performance 15: Conscious and nonconscious information processing. Cambridge, MA, US: The MIT Press, 1994: 421–52.
- 50 Logan GD, Bundesen C. Very clever homunculus: Compound stimulus strategies for the explicit task-cuing procedure. *Psychon Bull Rev* 2004; **11**: 832–40.
- 51 Mayr U, Kliegl R. Task-set switching and long-term memory retrieval. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*. 2000; **26**: 1124–40.
- 52 Meiran N. Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 1996; **22**: 1423–42.
- 53 Rogers RD, Monsell S. Costs of a Predictable Switch Between Simple Cognitive Tasks. *J Exp Psychol Gen* 1995. DOI:10.1037/0096-3445.124.2.207.
- 54 Kamijo K, Hayashi Y, Sakai T, Yahiro T, Tanaka K, Nishihira Y. Acute effects of aerobic exercise on cognitive function in older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 2009; **64**: 356–63.
- 55 Zelazo PD, Müller U. Executive Function in Typical and Atypical Development. Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development. 2002; : 445–69.
- 56 Mayr U, Spieler DH, Kliegl R. Ageing and executive control: Introduction to this special issue. *European Journal of Cognitive Psychology* 2001; **13**: 1–4.
- 57 Bedard A-C, Nichols S, Barbosa JA, Schachar R, Logan GD, Tannock R. The Development of Selective Inhibitory Control Across the Life Span. *Dev Neuropsychol* 2002; **21**: 93–111.
- 58 Cepeda NJ, Kramer AF, Gonzalez de Sather JCM. Changes in executive control across the life span: Examination of task-switching performance. *Dev Psychol*. 2001; **37**: 715–30.
- 59 Zelazo PD, Craik FIM, Booth L. Executive function across the life span. *Acta Psychol (Amst)* 2004. DOI:10.1016/j.actpsy.2003.12.005.

- 60 Drollette ES, Scudder MR, Raine LB, *et al.* Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: An ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Dev Cogn Neurosci* 2014; **7**: 53–64.
- 61 Sibley BA, Beilock SL. Exercise and working memory: an individual differences investigation. *J Sport Exerc Psychol* 2007; **29**: 783–91.
- 62 Bullock T, Giesbrecht B. Acute exercise and aerobic fitness influence selective attention during visual search. *Front Psychol* 2014; **5**.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psych&AN=2015-12345-001&site=ehost-live>.
- 63 Kamijo K, Nishihira Y, Higashiura T, Kuroiwa K. The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. *International Journal of Psychophysiology* 2007; **65**: 114–21.
- 64 O’Leary KC, Pontifex MB, Scudder MR, Brown ML, Hillman CH. The effects of single bouts of aerobic exercise, exergaming, and videogame play on cognitive control. *Clinical Neurophysiology* 2011; **122**: 1518–25.
- 65 Themanson JR, Hillman CH. Cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise effects on neuroelectric and behavioral measures of action monitoring. *Neuroscience* 2006; **141**: 757–67.
- 66 Yagi Y, Coburn KL, Estes KM, Arruda JE. Effects of aerobic exercise and gender on visual and auditory P300, reaction time, and accuracy. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999; **80**: 402–8.
- 67 Pontifex MB, McGowan AL, Chandler MC, *et al.* A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition. *Psychol Sport Exerc*. 2019. DOI:10.1016/j.psychsport.2018.08.015.
- 68 American College of Sports Medicine. ACSM Guidelines for Exercise Testing and Prescription 10th Edition. 2014 DOI:10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- 69 Ludyga S, Gerber M, Brand S, Holsboer-Trachsler E, Puhse U. Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology* 2016; **53**: 1611–26.
- 70 Rattray B, Smee DJ. The effect of high and low exercise intensity periods on a simple memory recognition test. *J Sport Health Sci* 2016; **5**: 342–8.
- 71 Alves CRR, Gualano B, Takao PP, *et al.* Effects of Acute Physical Exercise on Executive Functions: A Comparison between Aerobic and Strength Exercise. *J Sport Exerc Psychol* 2012; **34**: 539–49.
- 72 Wang C-C, Alderman B, Wu C-H, *et al.* Effects of Acute Aerobic and Resistance Exercise on Cognitive Function and Salivary Cortisol Responses. *J Sport Exerc Psychol* 2019; **41**: 73–81.
- 73 Johnson L, Addamo PK, Raj IS, *et al.* An acute bout of exercise improves the cognitive performance of older adults. *J Aging Phys Act* 2016; **24**: 591–8.
- 74 Lambourne K, Tomporowski P. The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Res* 2010; **1341**: 12–24.
- 75 Brisswalter J, Collardeau M, René A. Effects of Acute Physical Exercise Characteristics on Cognitive Performance. *Sports Medicine* 2002; **32**: 555–66.
- 76 Bender VL, McGlynn GH. The effect of various levels of strenuous to exhaustive exercise on reaction time. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1976; **35**: 95–101.
- 77 Davey CP. Physical Exertion and Mental Performance. *Ergonomics* 1973; **16**: 595–9.
- 78 Hillman C, Kamijo K, Pontifex M. The Relation of ERP Indices of Exercise to Brain Health and Cognition. In: *Functional neuroimaging in exercise and sport sciences*. 2012: 419–46.
- 79 Weingarten G, Alexander JF. Effects of Physical Exertion on Mental Performance of College Males of Different Physical Fitness Level. *Percept Mot Skills* 1970; **31**: 371–8.

- 80 McMorris T, Hale BJ. Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. *Brain Cogn* 2012. DOI:10.1016/j.bandc.2012.09.001.
- 81 Córdova C, Silva VC, Moraes CF, Simões HG, Nóbrega OT. Acute exercise performed close to the anaerobic threshold improves cognitive performance in elderly females. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 2009; **42**: 458–64.
- 82 Lowe CJ, Hall PA, Vincent CM, Luu K. The effects of acute aerobic activity on cognition and cross-domain transfer to eating behavior. *Front Hum Neurosci* 2014; **8**. pahall@uwaterloo.ca.
- 83 Alves CRR, Tessaro, V. H., Teixeira, L. A. C., Murakava, K., Roschel, H., Gualano, B., & Takito MY et al. Influence of Acute High-Intensity Aerobic Interval Exercise Bout on Selective Attention and Short-Term Memory Tasks. *Percept Mot Skills* 2014; **118**: 63–72.
- 84 Barenberg J, Berse T, Dutke S. Ergometer cycling enhances executive control in task switching. *Journal of Cognitive Psychology* 2015; **27**: 692–703.
- 85 Byun K, Hyodo K, Suwabe K, et al. Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: An fNIRS study. *Neuroimage* 2014; **98**: 336–45.
- 86 Loprinzi PD, Kane CJ. Exercise and cognitive function: a randomized controlled trial examining acute exercise and free-living physical activity and sedentary effects. *Mayo Clin Proc* 2015; **90**: 450–60.
- 87 Boot WR, Simons DJ, Stothart C, Stutts C. The Pervasive Problem With Placebos in Psychology: Why Active Control Groups Are Not Sufficient to Rule Out Placebo Effects. *Perspectives on Psychological Science* 2013; **8**: 445–54.
- 88 Green CS, Strobach T, Schubert T. On methodological standards in training and transfer experiments. *Psychol Res* 2014; **78**: 756–72.
- 89 Weber SJ, Cook TD. Subject effects in laboratory research: An examination of subject roles, demand characteristics, and valid inference. *Psychol Bull* 1972; **77**: 273–95.
- 90 Etnier JL, Chang Y-K. The effect of physical activity on executive function: a brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. *J Sport Exerc Psychol* 2009; **31**: 469–83.
- 91 Chang YK, Labban JD, Gapin JI, Etnier JL. ‘The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analytic review’: Corrigendum. *Brain Res* 2012; **1470**: 159.
- 92 Wu C-H, Karageorghis CI, Wang C-C, et al. Effects of acute aerobic and resistance exercise on executive function: An ERP study. *J Sci Med Sport* 2019; **22**: 1367–72.
- 93 Moher D, Liberati A, Tetzlaff J AD. Reprint—Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Phys Ther* 2009. DOI:10.1093/ptj/89.9.873.
- 94 Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med* 2009; **6**: e1000097.
- 95 Amir-Behghadami M, Janati A. Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Study (PICOS) design as a framework to formulate eligibility criteria in systematic reviews. *Emergency Medicine Journal* 2020; **37**: 387–387.
- 96 Pescatello LS, AR, RD, and T. ACSM’s Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 2014.
- 97 Norton K, Norton L, Sadgrove D. Position statement on physical activity and exercise intensity terminology. *J Sci Med Sport*. 2010. DOI:10.1016/j.jsams.2009.09.008.
- 98 Jovanović M, Flanagan EP. Researched applications of velocity based strength training. *J Aust Strength Cond* 2014; **22**: 58–69.
- 99 De Oliveira-Souza R, Moll J, Passman LJ, et al. Trail making and cognitive set-shifting. *Arq Neuropsiquiatr* 2000; **58**: 826–9.

- 100 Moll J, De Oliveira-Souza R, Moll FT, Bramati IE, Andreiuolo PA. The cerebral correlates of set-shifting: An fMRI study of the trail making test. *Arq Neuropsiquiatr* 2002; **60**: 900–5.
- 101 Sánchez-Cubillo I, Periañez JA, Adrover-Roig D, *et al.* Construct validity of the Trail Making Test: Role of task-switching, working memory, inhibition/interference control, and visuomotor abilities. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 2009. DOI:10.1017/S1355617709090626.
- 102 Tischler L, Petermann F. Trail Making Test (TMT). *Zeitschrift für Psychiatrie, Psychologie und Psychotherapie* 2010; **58**: 79–81.
- 103 Bürki J. 5a Trail Making Test (TMT) Part A & B. 2010; 2011: 1–6. <https://www.yumpu.com/de/document/read/21107803/tmt-ergotherapie-jacqueline-burki/5> (Zuletzt abgerufen am 26.08.2024)
- 104 Grant DA, Berg EA. A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *J Exp Psychol* 1948; **38**: 404–11.
- 105 Kopp B, Lange F, Steinke A. The Reliability of the Wisconsin Card Sorting Test in Clinical Practice. *Assessment* 2021; **28**: 248–63.
- 106 Miles S, Howlett CA, Berryman C, Nedeljkovic M, Moseley GL, Phillipou A. Considerations for using the Wisconsin Card Sorting Test to assess cognitive flexibility. *Behav Res Methods* 2021. DOI:10.3758/s13428-021-01551-3.
- 107 Konishi S, Nakajima K, Uchida I, *et al.* Transient activation of inferior prefrontal cortex during cognitive set shifting. *Nat Neurosci* 1998; **1**: 80–4.
- 108 Gamboz N, Borella E, Brandimonte MA. The role of switching, inhibition and working memory in older adults' performance in the Wisconsin Card Sorting Test. *Aging, Neuropsychology, and Cognition* 2009. DOI:10.1080/13825580802573045.
- 109 Albinet CT, Boucard G, Bouquet CA, Audiffren M. Processing speed and executive functions in cognitive aging: How to disentangle their mutual relationship? *Brain Cogn* 2012; **79**: 1–11.
- 110 Boucard GK, Albinet CT, Bugajska A, Bouquet CA, Clarys D, Audiffren M. Impact of physical activity on executive functions in aging: A selective effect on inhibition among old adults. *J Sport Exerc Psychol* 2012; **34**: 808–27.
- 111 Brush CJ, Olson RL, Ehmann PJ, Osovsky S, Alderman BL. Dose–response and time course effects of acute resistance exercise on executive function. *J Sport Exerc Psychol* 2016; **38**: 396–408.
- 112 Hillman CH, Kramer AF, Belopolsky A V, Smith DP. A cross-sectional examination of age and physical activity on performance and event-related brain potentials in a task switching paradigm. 2006; **59**: 30–9.
- 113 Salthouse TA, Fristoe N, McGuthry KE, Hambrick DZ. Relation of task switching to speed, age, and fluid intelligence. *Psychol Aging* 1998; **13**: 445–61.
- 114 Chen AG, Yan J, Yin HC, Pan CY, Chang YK. Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent children. *Psychol Sport Exerc* 2014. DOI:10.1016/j.psychsport.2014.06.004.
- 115 Dai C-T, Chang Y-K, Huang C-J, Hung T-M. Exercise mode and executive function in older adults: An ERP study of task-switching. *Brain Cogn* 2013; **83**: 153–62.
- 116 Kramer AF, Hahn S, McAuley E, *et al.* Exercise, aging, and cognition: Healthy body, healthy mind? In: Rogers WA, Fisk AD, eds. *Human factors interventions for the health care of older adults*. Kramer, Arthur F., U Illinois, Beckman Inst, Urbana, IL, US, 61801: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2001: 91–120.
- 117 Tomporowski PD, Ganio MS. Short-term effects of aerobic exercise on executive processing, memory, and emotional reactivity. *Int J Sport Exerc Psychol* 2006; **4**: 57–72.

- 118 Coles K, Tomporowski PD. Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *J Sports Sci* 2008; **26**: 333–44.
- 119 Blümle A, Meerpohl JJ, Wolff R, Antes G. Evidenzbasierte Medizin und systematische Übersichtsarbeiten. *Der MKG-Chirurg* 2009; **2**: 86–92.
- 120 Kabisch M. Randomisierte kontrollierte Studien. *Dtsch Arztebl* 2011.
- 121 Mad P, Felder-Puig R, Gartlehner G. Randomisiert kontrollierte Studien. *Wiener Medizinische Wochenschrift* 2008; **158**: 234–9.
- 122 Brown Jr BWm. 'The crossover experiment for clinical trials.' . *Biometrics* (1980): 69-79 1980.
- 123 Schulgen/Kristiansen G, Schumacher M. Cross-Over Studien. In: Springer, Berlin, Heidelberg. . 2008: 305–17.
- 124 Tsafnat G, Glasziou P, Choong MK, Dunn A, Galgani F, Coiera E. Systematic review automation technologies. *Syst Rev*. 2014. DOI:10.1186/2046-4053-3-74.
- 125 Higgins JP, Deeks JJ. Chapter 07: Selecting studies and collecting data. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* 2011. DOI:10.1590/S1519-69842007000200012.
- 126 Hegenscheidt S, Harth A, Scherfer E. PEDro-Skala Deutsch. Downloads German 2010; : 1–2. https://www.pedro.org.au/wp-content/uploads/PEDro_scale_german.pdf (Zuletzt abgerufen am 26.08.2024)
- 127 de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Australian Journal of Physiotherapy* 2009. DOI:10.1016/S0004-9514(09)70043-1.
- 128 Schwarzer G, Carpenter JR. Schwarzer G, Carpenter JR and Rücker G (2015), *Meta-Analysis with R (Use-R!)*. Springer International Publishing, Switzerland. <http://www.springer.com/gp/book/9783319214153>. 2015. DOI:10.1007/978-3-319-21416-0.
- 129 Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioural sciences*, 2nd edn.(Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates). 1988.
- 130 Lin L, Aloe AM. Evaluation of various estimators for standardized mean difference in meta-analysis. *Stat Med* 2021; **40**: 403–26.
- 131 Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2013 DOI:10.4324/9780203771587.
- 132 Higgins JPT, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses testing for heterogeneity. *BMJ* 2003. DOI:10.1136/bmj.327.7414.557.
- 133 Teasell R, Bayona N, Marshall S, *et al.* A systematic review of the rehabilitation of moderate to severe acquired brain injuries. *Brain Inj*. 2007. DOI:10.1080/02699050701201524.
- 134 Cian C, Barraud PA, Melin B, Raphael C. Effects of fluid ingestion on cognitive function after heat stress or exercise-induced dehydration. *Int J Psychophysiol* 2001; **42**: 243–51.
- 135 Delp MD, Armstrong RB, Godfrey DA, Harold Laughlin M, David Ross C, Keith Wilkerson M. Exercise increases blood flow to locomotor, vestibular, cardiorespiratory and visual regions of the brain in miniature swine. *Journal of Physiology* 2001. DOI:10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00849.x.
- 136 Pereira AC, Huddleston DE, Brickman AM, *et al.* An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2007. DOI:10.1073/pnas.0611721104.
- 137 Robbins TW, Roberts AC. Differential regulation of fronto-executive function by the monoamines and acetylcholine. *Cerebral Cortex* 2007; **17**: 151–60.

- 138 Bondi CO, Jett JD, Morilak DA. Beneficial effects of desipramine on cognitive function of chronically stressed rats are mediated by alpha1-adrenergic receptors in medial prefrontal cortex. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 2010; **34**: 913–23.
- 139 McMorris T, Turner A, Hale BJ, Sproule J. Beyond the Catecholamines Hypothesis for an Acute Exercise-Cognition Interaction: A Neurochemical Perspective. In: *Exercise-Cognition Interaction: Neuroscience Perspectives*. 2016. DOI:10.1016/B978-0-12-800778-5.00004-9.
- 140 Brown WA. Expectation, the placebo effect and the response to treatment. *R I Med J* (2013). 2015.
- 141 Mestre TA, Shah P, Marras C, Tomlinson G, Lang AE. Another face of placebo: The placebo effect in Parkinson disease. *Neurology* 2014; **82**: 1402–9.
- 142 Miller EK, Cohen JD. AN INTEGRATIVE THEORY OF PREFRONTAL CORTEX FUNCTION. 2001.
- 143 Goldman-Rakic PS. Colloquium Paper This paper was presented at a colloquium entitled 'Memory: Recording Experience in Cells and Circuits. 1996.
- 144 Egan MF, Goldberg TE, Kolachana BS, *et al*. Effect of COMT Val 108/158 Met genotype on frontal lobe function and risk for schizophrenia. 2001 www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.111134598.
- 145 Malhotra AK, Kestler LJ, Chiara Mazzanti B, Bates JA, Goldberg T, Goldman D. A Functional Polymorphism in the COMT Gene and Performance on a Test of Prefrontal Cognition. 2002.
- 146 Seamans JK, Yang CR. The principal features and mechanisms of dopamine modulation in the prefrontal cortex. *Prog Neurobiol* 2004; **74**: 1–58.
- 147 Trantham-Davidson H, Neely LC, Lavin A, Seamans JK. Mechanisms underlying differential D1 versus D2 dopamine receptor regulation of inhibition in prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience* 2004; **24**: 10652–9.

7. Anhang

7.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Übersicht der in der Literatur verwendeten Kontrollbedingungen ⁶⁷	19
Abbildung 2. Übersicht der Anzahl an Studien, welche Subgruppen der Kognition untersuchten ⁶⁷	20
Abbildung 3. Übersicht der Anzahl an Studien, welche Subgruppen der Exekutiven Funktionen untersuchten ⁶⁷	20
Abbildung 4. TMT A ¹⁰³	26
Abbildung 5. TMT B ¹⁰³	26
Abbildung 6. Wisconsin Card Sorting Task ¹⁰⁶	28
Abbildung 7. Stimuli des Dimension – Switching Task	29
Abbildung 8. More Odd Task	30
Abbildung 9. Task Switching Paradigm	31
Abbildung 10. Randomisiert kontrolliertes Studiendesign	32
Abbildung 11. Crossover Studiendesign	33
Abbildung 12. Kriterien der PEDro Skala ¹²⁶	38
Abbildung 13. Flowchart der Studienelektion angelehnt an die PRISMA Guidelines ⁹⁴	43
Abbildung 14. Übersicht über die nach PEDro bewertete Studienqualität aller inkludierten Studien	44
Abbildung 15. Detaillierte Übersicht über die nach PEDro bewertete Studienqualität für jede einzelne inkludierte Studie	45
Abbildung 16. Forest Plot aller inkludierten Studien über den Effekt einer akuten körperlichen Aktivität auf die nachfolgende Set Shifting Leistung	49
Abbildung 17. Forest Plot Subgruppenanalyse “Alter der Probanden und Probandinnen ”	51
Abbildung 18. Forest Plot Subgruppenanalyse “Trainingsmodalität”	52
Abbildung 19. Forest Plot Subgruppenanalyse “Trainingsintensität”	53
Abbildung 20. Forest Plot Subgruppenanalyse “Art der Kontrollgruppe”	54

7.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Übersicht der Bestandteile des PRISMA Statements ⁹⁴	22
Tabelle 2. Übersicht der PICOS Kriterien dieser Arbeit	25
Tabelle 3. Übersicht der Evidenzklassen ¹¹⁹	32
Tabelle 4. Komponenten der Datenextraktionstabelle	35
Tabelle 5. Definition der aeroben Trainingsintensität nach Norton und Norton ⁹⁷	39
Tabelle 6. Definition der Intensität des Krafttrainings nach Jovanovic ⁹⁸	40
Tabelle 7. Übersicht über alle in die Metaanalyse inkludierten Studien	49
Tabelle 8. Übersicht über die Subgruppenanalyse.	50

8. Vorabveröffentlichung von Ergebnissen

Die vorliegende Dissertation ist als Monographie mit Teilpublikation verfasst und basiert auf der zugrundeliegenden Publikation von Oberste und Sharma et al. mit dem Titel "Acute Exercise-Induced Set Shifting Benefits in Healthy Adults and Its Moderators: A Systematic Review and Meta-Analysis", publiziert im Jahre 2021 im Journal *Frontiers in Psychology* (DOI:10.3389/fpsyg.2021.528352) ¹. Aus jener Publikation wird ein Teil dieser Arbeit zitiert und diese Passagen sind als solche kenntlich gemacht. Herr Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Bloch ist als Betreuer der Publikation und Doktorvater mit der Vorabveröffentlichung einverstanden.