

Effekte einer akuten Ausdauerbelastung auf die Inhibitionsfähigkeit bei Jugendlichen

Nadja Schott, Jessica Diesch, Benjamin Holfelder, Thomas Klotzbier

Zusammenfassung

Einleitung. Eine Vielzahl aktueller Studien zeigt, dass akute körperliche Belastungen zu einer Verbesserung der exekutiven Funktionen führen, während andere Studien berichten, dass genau das Gegenteil der Fall ist. Weiterhin wurde der selektive Effekt akuter Belastungen mit mittlerer Intensität bei Kindern und Erwachsenen mit geringer kognitiver Leistungsfähigkeit untersucht. Unklar ist bislang, wie sich eine einzelne Ausdauerbelastung mit hoher Intensität auf die exekutiven Funktionen bei Jugendlichen mit geringer Leistungsfähigkeit auswirkt.

Methode. Bei $n = 73$ Jugendlichen (12-17 Jahre; 48 Jungen, 25 Mädchen) wurden die Reaktionszeiten (RT, in ms) sowie die Lösungsrate (LR, in %) bei einer modifizierten Flanker-Aufgabe mit chinesischen Schriftzeichen in Ruhe und nach einer hochintensiven Ausdauerbelastung zu getrennten Testterminen erhoben. Zur weiteren Analyse wurden die Untersuchungsteilnehmer/innen basierend auf ihrer Testleistung in der Ruhebedingung in zwei Gruppen (kognitiv leistungsschwächer vs. leistungstärker) unterteilt. Die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit wurde anhand des PACER-Tests (Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run) ermittelt.

Ergebnisse. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die leistungstärkeren Jugendlichen ihre Lösungsrate nach der Belastung beibehalten. Bei den leistungsschwächeren Jugendlichen steigt die Lösungsrate nach einer intensiven Ausdauerbelastung. Beide Gruppen erzielten bessere Reaktionszeiten nach der intensiven Ausdauerbelastung. In Ruhe erreichen die kognitiv leistungstärkeren Jugendlichen mit besserer aerober Ausdauerleistungsfähigkeit höhere Lösungsraten sowie schnellere Reaktionszeiten. Jedoch verschlechtern sich die Lösungsraten dieser Jugendlichen nach der Ausdauerbelastung.

Schlussfolgerung. Die Ergebnisse zeigen das Potential einer akuten Ausdauerbelastung mit hoher Intensität zur Verbesserung der Inhibitionsfähigkeit bei Jugendlichen. Weiterhin scheinen kognitiv leistungsschwächere Jugendliche den größten Nutzen aus einer akuten Ausdauerbelastung zu ziehen.

Schlagwörter: Exekutive Funktionen, Flanker-Aufgabe, akute Ausdauerbelastung, PACER, Jugendliche

Effects of Acute Aerobic Exercise on Inhibitory Control in Adolescents

Abstract

Background. Recently, some researches have reported that exercise facilitates executive functions, whereas others have reported that exercise debilitates them. Furthermore, some studies have examined the selective effect of acute exercise of moderate intensity on poor cognitive performance at rest in children and adults. The extent to which a bout of high intensity exercise influences executive functions in adolescents, who differ in their cognitive capacity, remains unsolved.

Method. 73 adolescents (12 to 17 year olds; 48 boys, 25 girls) performed a modified Flanker-task with Chinese characters in a seated condition, and again after high-intensity aerobic exercise on separated occasions. Participants were divided into two groups (low vs. high cognitive performer) based on task performance following the resting session. Aerobic capacity was examined using the Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run (PACER).

Results. Findings revealed that following exercise, high-performers maintained accuracy compared to seated rest. Low-performers demonstrated a differential effect, such that accuracy measures improved following exercise. Both groups had improved reaction times immediately after vigorous intensity aerobic exercise. Furthermore, greater aerobic fitness in high-performers was related to shorter reaction time and superior accuracy at rest, but it was related to lower accuracy after exercise.

Conclusion. The results demonstrate the potential of acute physical exercise with high intensity to improve inhibitory control in adolescents. Additionally, adolescents with lower cognitive control capacity may benefit the most from single bouts of exercise.

Keywords: Executive Functions, Flanker, Aerobic Exercise, PACER, Adolescents

1 Einleitung

Die deutliche Zunahme an Ganztagschulen lässt dieses Setting mehr und mehr zu einem Schlüsselspieler in der Förderung körperlich-sportlicher Aktivitäten werden (vgl. *Biddle/Sallis/Cavill* 1998). Neue Strukturen für Sportangebote müssen geschaffen, qualifiziertes Lehrpersonal angestellt und Kooperationen (u.a. mit Sportvereinen) eingegangen werden. Auf der anderen Seite wird von den Schulen erwartet, vor allem die kognitive und schulische Leistungsfähigkeit in den Fokus ihrer Arbeit zu stellen. Dies führt vermehrt zu zusätzlichen kognitiven Lernzeiten bei gleichzeitiger Reduktion von Stunden für den Sportunterricht und aktiven Pausen (vgl. *Pellegrini/Bohn* 2005). Unabhängig davon konnten beispielsweise *Ahamed* und Kollegen (2007) jedoch zeigen, dass eine Verringerung der aktiven Bewegungszeit zugunsten vermehrter kognitiver Lernzeiten nicht zu einer Verbesserung der schulischen Leistungen führt. *Singh* und Kollegen (2012) kamen in ihrem Überblicksbeitrag zu dem Schluss, dass sogar ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen körperlich-sportlicher Aktivität und schulischer Leistungsfähigkeit besteht.

Trotz der positiven Effekte für die motorische und kognitive Leistungsfähigkeit sowie für verschiedene Gesundheitsparameter bei Kindern und Jugendlichen verzeichnen wir in Deutschland einen deutlichen Rückgang in Bewegungszeiten in Schule und Freizeit (vgl. *Hillman/Schott* 2013; *Holfelder/Schott* 2014; *Manz* u.a. 2014). Gleichzeitig nehmen die Zeiten, die im Sitzen – vor dem Fernseher, dem Computer, dem Mobiltelefon – verbracht werden, insbesondere bei Jugendlichen immer mehr zu (vgl. *Buksch* u.a. 2014). Diese *Sedentariness* („Sitzende Lebensweise“) wird wiederum mit steigenden Prävalenzraten zu Adipositas, Typ-2-Diabetes sowie weiteren metabolischen Erkrankungen in Verbindung gebracht (vgl. *Badura* u.a. 2015).

Um diesen Trends zu begegnen, werden akute Bewegungsangebote im Klassenzimmer sowie in den Schulpausen angeboten (vgl. *Kibbe* u.a. 2011; *Pirrie/Lodewyk* 2012). Jedoch ist nach wie vor unklar, welche Formen von Bewegungsangeboten (Fokus auf Ausdauer, Kraft, Koordination), Umfang und Intensität sich auf welche Aspekte der Kognition (u.a. Langzeitgedächtnis, exekutive Funktionen) sowie schulischen Leistungsfähigkeit am deutlichsten auswirkt.

Ein Aspekt, der in den letzten Jahren besonderes Interesse erfahren hat, ist die kognitive Kontrolle (u.a. Top-Down-Kontrolle zielorientierten Handelns). Diese zeigt sich sehr empfänglich für Interventionen mit moderater Intensität (vgl. *Best* 2012; *Drollette* u.a. 2012; *Pontifex* u.a. 2013). Der Begriff der kognitiven Kontrolle wird häufig synonym mit dem Begriff der exekutiven Funktionen verwendet. Die exekutiven Funktionen sind ganz grundlegend für die Steuerung menschlichen Verhaltens verantwortlich, die sich vom Kindes- bis zum Erwachsenenalter ausdifferenzieren und verbessern (vgl. *Diamond* 2013; *Diamond/Lee* 2011). Auch wenn für exekutive Funktionen bisher keine einheitliche Definition vorliegt (vgl. *Wasserman/Wasserman* 2013), werden diese häufig in Arbeitsgedächtnis, flexiblen Aufgabenwechsel (Shifting) und Inhibition gegliedert, was vor allem auf die Arbeit von *Miyake* u.a. (2000) zurückzuführen ist. Nach aktuellem Verständnis interagieren diese Komponenten, wobei die kognitive Flexibilität hierarchisch am höchsten einzuordnen ist (vgl. *Diamond* 2013).

Forscher/innen sind bereits seit einiger Zeit an den Effekten akuter Belastungen (einmaliger Belastungsreiz) auf die kognitive Kontrolle interessiert (vgl. *Tomporowski* 2003). Obwohl Meta-Analysen uneinheitliche Effektstärken berichten, sprechen einige Befunde dafür, dass kognitive Funktionen durch akute Belastungsreize (insbesondere nach und nicht während der Belastung) verbessert werden (vgl. *Chang/Labban* u.a. 2012; *Lambourne/Tomporowski* 2010; *McMorris* u.a. 2011; *Verburgh* u.a. 2014). Die Mehrzahl der Studien konzentrierte sich hauptsächlich auf junge Erwachsene (vgl. *Chang* u.a. 2014; *Pesce/Audiffren* 2011), Erwachsene mittleren Alters (vgl. *Chang/Ku* u.a. 2012; *Chang* u.a. 2014) oder ältere Erwachsene (vgl. *Pesce* u.a. 2011). Die Studien, die die kognitive Leistungsfähigkeit unmittelbar nach der Belastung prüfen, kommen meist zu dem Ergebnis, dass eine Ausdauerbelastung mit mittlerer Intensität und einer Dauer von ca. 30 Minuten die kognitive Leistungsfähigkeit fördert. Studien, die die kognitive Leistungsfähigkeit erst am folgenden Tag testen, zeigen die größten Effekte nach einer hochintensiven Belastung (für eine detaillierte Betrachtung siehe *Chang* u.a. 2014).

Darüber hinaus werden auch entsprechend positive Einflüsse auf einem neurophysiologischen Level erzeugt, insbesondere durch intensive Belastungen (z.B. Anstieg der Wachstumsfaktoren BDNF, IGF-1 und VEGF sowie von Dopamin und Serotonin; vgl. *Chang* u.a. 2014; *Heijnen* u.a. 2016), welche als Erklärungsmechanismen für die Effekte auf Verhaltensebene herangezogen werden. *Chang* u.a. (2011) finden eine invertierte U-förmige Beziehung zwischen Belastungsintensität und kognitiver Kontrolle. So führt eine akute Krafttrainingseinheit mit mittlerer Intensität (70% des 10-Wiederholungsmaximums) zu einer besseren kognitiven Leistung im Vergleich zu einer Einheit mit geringer bzw. hoher Intensität.

Deutlich weniger Studien liegen bisher bei Kindern und Jugendlichen zu akuten körperlichen Belastungen und kognitiver Kontrolle vor. Dennoch werden auch hier positive Befunde bestätigt (vgl. *Sibley/Etnier* 2003; *Verburgh* u.a. 2014). *Caterino/Polak* (1999) finden bei Kindern der 4. Klasse verbesserte Konzentrationsleistungen für ein kombiniertes Kraft- und Ausdauerprogramm mit einem Umfang von 15 Minuten. Bei Kindern im Alter von sieben bis 12 Jahren werden nach einer Ausdauerbelastung bessere Lösungsraten und Reaktionszeiten in einer Wahl-Reaktionszeitaufgabe (vgl. *Elleberg/St-Louis-Deschenes* 2010) sowie verbesserte freie Abrufleistungen bei Gedächtnisaufgaben (Wortliste – freier Abruf) nach einem Zirkeltraining bzw. Spielformen gefunden (vgl. *Pesce* u.a. 2009). Keine Unterschiede im Sinne der invertierten U-förmigen Beziehung zwischen Belastungsintensität und kognitiver Kontrolle (Wide Ranging Achievement Task) zeigen

sich für unterschiedliche Intensitäten einer Ausdauerbelastung und kognitiver Leistungsfähigkeit bei acht- bis elfjährigen Kindern (vgl. *Duncan/Johnson* 2014). *Chang/Labban* u.a. (2012) kommen hingegen in ihrer Meta-Analyse basierend auf Studien mit Erwachsenen zu dem Schluss, dass insbesondere intensive Ausdauerbelastungsreize für die kognitive Leistungsfähigkeit effektiv sind. Nichtsdestotrotz gibt es auch andere Befunde, die zeigen, dass der Fitnesszustand und nicht eine einmalige Belastung ausschlaggebend für die veränderte Inhibitionsfähigkeit (Eriksen Flanker-Task) bei 13- bis 15-Jährigen sein kann (vgl. *Stroth* u.a. 2009). Beispielsweise geht aus dem Review von *Haapala* (2013) hervor, dass ein höheres Fitnesslevel mit einer besseren kognitiven Leistungsfähigkeit einhergeht. Kritisch anzumerken bleibt, dass es sich bei den eingeschlossenen Studien meist um korrelative Designs handelt.

Die Ergebnisse von *Pontifex* u.a. (2013) weisen darauf hin, dass in diesem Alter insbesondere diejenigen kognitiven Aufgaben durch eine aktive Belastung verbessert werden, die einen hohen Anteil an Inhibitionsfähigkeit (Eriksen Flanker-Task) erfordern. Dieser Effekt verstärkt sich zudem, wenn man die individuellen Unterschiede in der Inhibitionsfähigkeit berücksichtigt. So konnten *Drollette* u.a. (2014) bei Acht- bis Zehnjährigen mit geringer Inhibitionsfähigkeit zeigen, dass sie nach einer 20-minütigen Belastung mit 60-70% der maximalen Herzfrequenz mit einer verbesserten Lösungsrate bei einer Flanker-Aufgabe profitieren, während Kinder mit hoher kognitiver Leistungsfähigkeit ihre Lösungsrate aufrecht erhalten. Sie zeigen zudem keine Änderung in der P3-Amplitude (je größer die P3-Amplitude, desto mehr Aufmerksamkeit wird auf einen Reiz bzw. eine Aufgabe gerichtet). Leistungsschwächere Kinder verringern hingegen ihre Fehlerrate bei gleichzeitiger Erhöhung der P3-Amplitude. Beide Gruppen produzierten eine geringere N2-Amplitude (Handlungskontrolle sowie Inhibition unzuweckmäßiger Handlungen) sowie kürzere Latenzzeiten für die P3 (Maß für die Zeitdauer von Reizbewertung) nach einer moderat intensiven Einheit. Die Autor/innen vermuten, dass leistungsschwächere Kinder in der Phase unmittelbar vor dem Reiz aufmerksamer sind und im späteren Verlauf der Aufgabe weniger Ressourcen in Anspruch nehmen, um ihr Verhalten zu kontrollieren. Auch *Sibley* und *Beilock* (2007) bestätigen die positiven Effekte einer 30-minütigen Ausdauerbelastung bei selbstgewählter Geschwindigkeit auf die Arbeitsgedächtnisleistung (OSPAN-Test, Operation Span Task; RSPAN-Test, Reading Span Task) für junge Erwachsene, wobei die Befunde sich allein auf die Gruppe mit niedriger Leistungsfähigkeit in den Arbeitsgedächtnisaufgaben zurückführen ließen.

Obwohl mittlerweile einige übereinstimmende Ergebnisse hinsichtlich der generellen Befunde zu akuten Belastungen auf spezifische Aspekte der kognitiven Leistungsfähigkeit bestehen, sind spezifische Aussagen zum Einfluss des Fitnesslevels und der kognitiven Leistungsfähigkeit im Jugendalter in diesem Kontext bisher nicht möglich. In der vorliegenden Studie sollte deshalb der Frage nachgegangen werden, inwiefern eine intensive Ausdauerbelastung die Inhibitionsfähigkeit unmittelbar positiv beeinflussen kann. Es wird erwartet, dass diejenigen Jugendlichen mit einer geringen Inhibitionsfähigkeit ihre Lösungsrate nach dem Training verbessern, und die Jugendlichen mit einer guten Inhibitionsfähigkeit ihre Leistung bestätigen. Darüber hinaus erwarten wir einen moderierenden Einfluss des Fitnesslevels (*Hillman/Schott* 2013; *Scudder* u.a. 2014).

2 Methode

2.1 Untersuchungsteilnehmer/innen

Die Untersuchung wurde mit insgesamt $n = 73$ Jugendlichen einer Gemeinschaftsschule (48 Jungen, 25 Mädchen) im Alter von 13 bis 17 Jahren durchgeführt. Alle Schüler/innen der angefragten Klassen nahmen an der Studie teil. Die Teilnahme war freiwillig und wurde nicht entlohnt. Die Schule wurde aufgrund geographischer Gründe angefragt, d.h. es handelt sich um eine Klumpenstichprobe. Die Teilnehmer/innen wurden eingeschlossen, wenn 1) keine stark eingeschränkte oder instabile gesundheitliche Verfassung (z.B. grippaler Infekt, Fieber), 2) keine körperlichen Einschränkungen und 3) normaler bzw. korrigierter Visus vorlagen.

Das vorliegende Forschungsvorhaben entspricht in seiner Durchführung den ethischen und gesetzlichen Anforderungen nach den Richtlinien der Deklaration von Helsinki 2013. Von allen beteiligten Proband/innen bzw. deren Eltern liegt eine Einverständniserklärung vor.

2.2 Untersuchungsmethoden

2.2.1 Flanker-Aufgabe

Zur Überprüfung der kognitiven Kontrolle, insbesondere der Inhibitionsfähigkeit, bearbeiteten alle Versuchspersonen (Vpn) eine modifizierte Flanker-Aufgabe (vgl. *Eriksen/Eriksen* 1974). Vier verschiedene chinesische Schriftzeichen wurden in einer randomisierten Reihenfolge auf einem 17"-Bildschirm präsentiert. Die Vpn hatten in diesem Teil des Experiments die Aufgabe, unmittelbar nach Erscheinen eines zentral dargebotenen chinesischen Schriftzeichens (Zielreiz), das rechts und links jeweils von zwei Ablenkreizen umgeben war (siehe Abb. 1), mit dem Druck einer von zwei alternativen Tasten (Taste C mit einem blauen Punkt beklebt oder Taste M mit einem gelben Punkt beklebt) so schnell und so genau wie möglich zu reagieren.

Zeigten die Ablenkreize in die gleiche Richtung wie der Zielreiz, so handelte es sich um eine kongruente Reizanordnung, d.h. die blaue Taste sollte so schnell wie möglich gedrückt werden. Bei inkongruenten Anordnungen zeigten Ziel- und Ablenkreize in entgegengesetzte Richtungen, d.h. die gelbe Taste sollte so schnell wie möglich gedrückt werden. Die Tasten wurden mit einem blauen und einem gelben Punkt versehen, sodass sie bei einem eventuellen Anheben der Hände wieder schnell erkannt werden konnten.

Vor dem eigentlichen Test hatten die Vpn die Möglichkeit, sich in acht Übungsdurchgängen mit der Aufgabe vertraut zu machen. Erreichten die Vpn in den Übungsdurchgängen eine Lösungsrate von mehr als 50%, folgten anschließend 72 Testdurchgänge. Das Flanker-Experiment begann mit der Darbietung eines Fixationskreuzes für die Dauer von 500 ms in der Mitte des Bildschirms. Dadurch sollten die Probanden auf das Erscheinen des Reizes an dieser Stelle vorbereitet werden. Danach erschien der erste Reiz für 750 ms. Im Anschluss an diesen Reiz wurde ein variables Interstimulusintervall von 2500 bis 3000 ms dargeboten.

vgl. *Henderson/Sugden/Barnett* 2007) die motorische Kompetenz (MABC A+B; Range 0-90) sowie weitere nicht-motorische Faktoren (MABC-C; u.a. mangelndes Selbstvertrauen, Impulsivität; Range 0-13) erhoben. Einschränkungen in der motorischen Kompetenz in Bezug auf Aufgaben zu Hause wie auch in der Schule gehen mit höheren Werten einher. Lediglich die Eltern von zwei Kindern und Jugendlichen füllten den Fragebogen nicht aus.

2.3 Untersuchungsablauf

Alle Vpn absolvierten am ersten Testtag den PACER-Test (= PACER 1). An den unmittelbar darauffolgenden Tagen erfolgte die Untersuchung der Flanker-Aufgabe im Sitzen in einem ruhigen Raum. Zur Vermeidung von Lerneffekten bezüglich der Flanker-Aufgabe wurde der zweite Teil des Experiments – die Untersuchung der Effekte einer akuten hochintensiven Ausdauerbelastung (= PACER 2) – drei bis vier Wochen nach der ersten Testung durchgeführt. Unmittelbar nach der Ausdauerbelastung – spätestens nach drei Minuten – wurde die gleiche Flanker-Aufgabe wie zuvor erhoben. Die Länge der Ausdauerbelastung hing sowohl von der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit als auch davon ab, wie lange jede einzelne Vpn benötigte, um die eigene willentliche Erschöpfung zu erreichen.

2.4 Datenanalyse

Alle Daten wurden zunächst auf Genauigkeit, fehlende Daten und Normalverteilung geprüft. Etwaige Gruppenunterschiede (leistungsschwächer vs. leistungsstärker) hinsichtlich der Stichprobencharakteristika wurden bei intervallskalierten Variablen (u.a. Alter, BMI, Dauer der sportlichen Aktivität) mit Hilfe von t-Tests für abhängige Stichproben und bei ordinalskalierten Variablen mit Hilfe von χ^2 untersucht. Zusammenhänge zwischen den PACER-Testergebnissen und dem Umfang der körperlich-sportlichen Aktivität wurden mithilfe der Pearson-Produkt-Moment-Korrelation berechnet. Demographische Variablen, Fitness, motorische Kompetenz und sportliche Aktivität wurden als Kovariaten in die weiteren Analysen zu Lösungsraten und Reaktionszeiten bei der Flanker-Aufgabe inkludiert, wenn sie signifikant mit den abhängigen Variablen korrelierten und keine Interaktion mit der Gruppenvariable vorlag. Dies traf nur für das Alter und die Fitness (PACER) für einzelne Bedingungen zu, sie wurden als Kovariaten im Weiteren berücksichtigt. In Übereinstimmung mit der zuvor formulierten Hypothese wurde die Stichprobe auf Basis der Leistung in der Flanker-Aufgabe in der inkongruenten Bedingung (höheres Maß an Inhibition im Vergleich zur kongruenten Bedingung) in zwei Gruppen unterteilt (leistungsschwächer vs. leistungsstärker). Dabei wurde statt der Reaktionszeit die Lösungsrate als Repräsentant für die Inhibitionsfähigkeit genutzt, da Kinder und Jugendliche typischerweise eine impulsive Antwort zur Aufrechterhaltung der Reaktionszeit nutzen. Erwachsene hingegen wählen eine kontrollierte, langsamere Antwort zugunsten der Lösungsrate. *Davidson* und Kollegen (2006) bestätigen, dass die Lösungsrate das geeignetere Maß zur Überprüfung der Inhibitionsfähigkeit im Vergleich zur Reaktionszeit darstellt. In Anlehnung an die Vorgehensweise von *Drollette* u.a. (2014), wurde die Gruppeneinteilung in kognitiv leistungsstärker und leistungsschwächer auf Basis des Mediansplits der Lösungsrate für die inkongruente Bedingung der Flanker-Aufgabe in Ruhe vorgenommen. Der Median lag bei 90% Lösungsrate.

Lösungsraten und Reaktionszeiten wurden getrennt mit Varianzanalysen mit Messwiederholung auf den Faktoren „Bedingung“ (in Ruhe vs. nach Belastung) und „Kongruenz“ (kongruent vs. inkongruent), dem Between-Subject-Faktor „Gruppe“ (leistungsschwächer vs. leistungsstärker) und den Kovariaten „Fitness“ und „Alter“ analysiert. Anschließend wurden post-hoc-Analysen (Bonferroni) zum paarweisen Vergleich zwischen den Mittelwerten herangezogen. Effektstärken für alle Varianzanalysen wurden als partielles η^2 (η^2) ausgegeben, wobei ein Wert ab 0.01 einen kleinen Effekt, ein Wert ab 0.06 einen mittleren Effekt und ein Wert ab 0.14 einen großen Effekt darstellt (Cohen 1988).

Als Maß für die Stärke des Interferenzeffektes wurden die Reaktionszeiten als auch die Lösungsraten in kongruenten Durchgängen von denjenigen in inkongruenten abgezogen. Große Differenzen weisen auf eine wenig effektive Interferenzkontrolle des Probanden/der Probandin hin. Diese Differenzwerte wurden 2 (Bedingung) x 2 (Gruppe) Varianzanalysen unterzogen. Möglichen Verletzungen der Varianzhomogenitäten wurde durch Greenhouse-Geiser-Adjustierung der Freiheitsgrade Rechnung getragen (Greenhouse-Geiser Epsilon).

Alle statistischen Analysen wurden zweiseitig getestet und mit SPSS 22 für Windows durchgeführt. Für diese Studie wurde das Signifikanzniveau auf $p < .05$ festgelegt.

3 Ergebnisse

3.1 Stichprobencharakteristika

Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Proband/innen hinsichtlich Alter, BMI, Umfang der sportlichen Aktivität im Verein, motorischer Kompetenz und Fitness. Knapp 10% der Stichprobe werden anhand der BMI-Perzentile als übergewichtig eingestuft (vgl. *Kromeyer-Hauschild* u.a. 2001). Die mittlere geschätzte $VO_2\max$ beträgt $47.1 \pm 5.48 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$ bei den Jungen und $42.9 \pm 5.61 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$ bei den Mädchen. In der hier vorliegenden Altersgruppe sind diese Werte als moderat bis gut einzustufen (vgl. *Bernitzki* 2006). Die Korrelation für den PACER bzw. die daraus resultierende $VO_2\max$ zwischen Messzeitpunkt 1 und 2 betragen $r = .859$ bzw. $r = .934$. Es geben 45.6% der Stichprobe an, maximal 60 Minuten in der Woche sportlich aktiv zu sein. Nur 19.1% der Heranwachsenden sind fast jeden Tag mindestens eine Stunde körperlich aktiv und erfüllen damit die aktuelle Empfehlung zum Bewegungsverhalten von Kindern und Jugendlichen (*Graf* u.a. 2014). Der Umfang der sportlichen Aktivität korreliert zudem direkt mit der maximalen Sauerstoffaufnahme ($r = .359$, $p = .008$). Knapp 21% der Eltern gaben an, dass ihr Kind deutliche motorische Probleme zuhause und in der Schule zeigt (MABC A+B). Weiterhin beschreiben die Eltern ihre Kinder als leicht ablenkbar (30%), unorganisiert (21%), impulsiv (17%) und attestieren ihnen eine mangelnde Beharrlichkeit (18%) (MABC C). Erwartungsgemäß korreliert die motorische Kompetenz mit der Anzahl der gelaufenen Runden ($r = -.265$, $p = .024$).

Tabelle 1: Mittelwerte (\pm SD) zu den demographischen Charakteristika, sportlicher Aktivität und Fitness in Abhängigkeit von der kognitiven Leistungsfähigkeit (leistungsschwach vs. leistungsstark). Abkürzungen: BMI = Body Mass Index; MABC = Movement Assessment Battery Checklist; PACER = Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run.

Variable	leistungsschwach (n=39)	leistungsstark (n=34)	Stat. Analyse
Alter (Jahre)	14.4 \pm 0.94	14.7 \pm 0.94	$t(71) = -1.35, p = .181$
Geschlecht (n)	29 M, 10 F	19 M, 15 F	$\chi^2(1) = 2.75, p = .138$
BMI (kg/m ²)	20.6 \pm 3.03	20.9 \pm 3.35	$t(71) = -0.38, p = .702$
Sportl. Aktivität (min/Woche)	196 \pm 292	164 \pm 174	$t(66) = 0.54, p = .590$
MABC A+B	3.53 \pm 4.68	2.94 \pm 4.09	$t(70) = 0.56, p = .576$
MABC C	2.05 \pm 2.80	1.21 \pm 1.82	$t(69) = 1.48, p = .145$
PACER 1 (Strecken)	35.1 \pm 16.0	41.5 \pm 17.7	$t(71) = -1.63, p = .108$
PACER 2 (Strecken)	35.9 \pm 19.6	39.6 \pm 17.0	$t(71) = -0.85, p = .400$

3.2 Flanker-Aufgabe

In Abbildung 2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Reaktionszeiten (Balken) sowie die Lösungsraten in Prozent wiedergegeben.

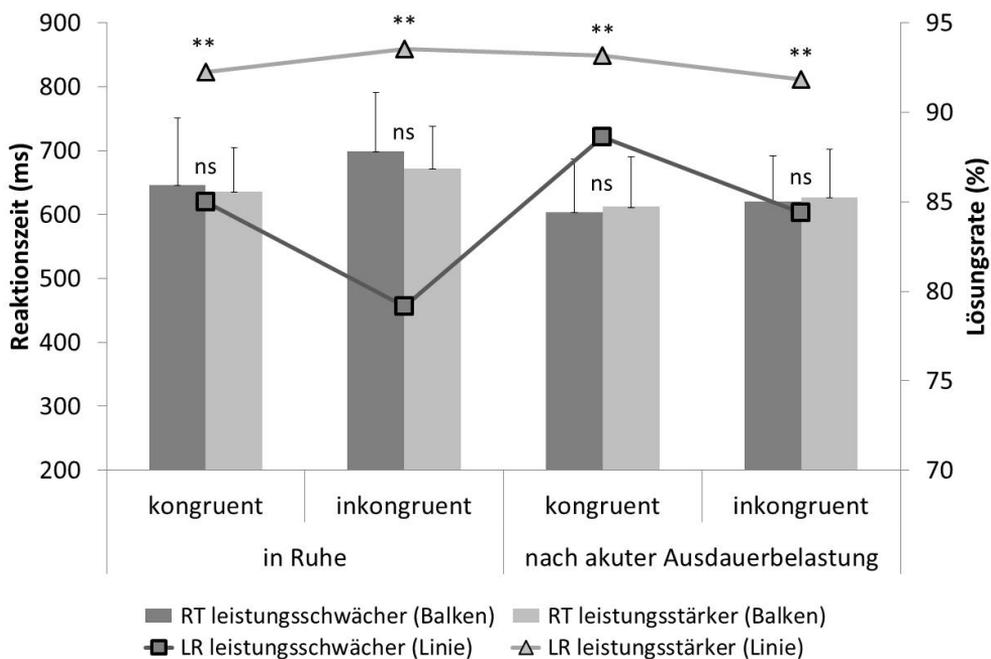


Abbildung 2: Reaktionszeiten (M \pm SD) und Lösungsraten in Abhängigkeit von Messzeitpunkt und Gruppe

3.2.1 Reaktionszeiten

In einer Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren Bedingung und Kongruenz und dem Between-Subject-Faktor Gruppe zeigen die leistungsschwächeren Jugendlichen keine signifikant längeren Reaktionszeiten als die leistungsstärkeren Jugendlichen (639 ± 98 ms). Eine statistisch bedeutsame Interaktion ergibt sich für die Faktoren Bedingung x Kongruenz, die durch eine mittlere Effektstärke gestützt wird: Die Reaktionszeiten von kongruenter (641 ± 9.4 ms vs. 608 ± 8.8 ms) und inkongruenter (685 ± 7.9 ms vs. 622 ± 8.3 ms) Versuchsbedingung nehmen in beiden Gruppen nach der Ausdauerbelastung ab. Zudem zeigt sich ein hochsignifikanter Interaktionseffekt zwischen Bedingung und Anzahl der absolvierten 20 m-Strecken im PACER (siehe Tabelle 2). Die Analyse der Parameterschätzungen zeigt, dass eine bessere Fitness mit geringeren RTs nach einer Ruhephase einhergeht; nach der Ausdauerbelastung erzielen jene Kinder mit höheren Streckenzahlen ebenfalls höhere RTs. Ebenso ergab sich ein Interaktionseffekt für Bedingung x Kongruenz x Alter, wobei das Alter signifikant mit der inkongruenten ($r = -.429$, $p < .001$) und kongruenten ($r = -.340$, $p = .004$) Bedingung in Ruhe korreliert, jedoch nach der Ausdauerbelastung nur noch eine signifikante Korrelation mit der kongruenten Bedingung aufweist ($r = -.326$, $p = .006$). Die Effektstärken liegen durchweg im mittleren bis hohen Bereich.

Tabelle 2: Ergebnisse für die statistischen Analysen zu Reaktionszeiten, Lösungsraten und Interferenz. Abkürzungen: PACER = Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run.

Effekt	F	Df1/df2	p	η^2
<i>Reaktionszeiten</i>				
Bedingung x PACER 1	10.9	1/68	.002	.143
Bedingung x PACER 2	10.5	1/68	.002	.139
Bedingung x Kongruenz	5.60	1/68	.021	.079
Bedingung x Kongruenz x Alter	4.12	1/68	.047	.060
<i>Lösungsrate</i>				
Bedingung	4.16	1/68	.045	.058
Bedingung x Gruppe	6.36	1/68	.014	.086
Kongruenz	7.24	1/68	.009	.096
Kongruenz x Alter	8.02	1/68	.006	.106
Kongruenz x Gruppe	7.71	1/68	.007	.102
<i>Interferenz Reaktionszeit</i>				
Bedingung	4.95	1/68	.029	.068

Anmerkung. Es werden nur signifikante Ergebnisse ($p < .05$) berichtet.

3.2.2 Lösungsraten

Die Varianzanalyse ergab signifikante Effekte für Bedingung, Kongruenz, Bedingung x Gruppe, Kongruenz x Gruppe sowie Kongruenz x Alter (siehe Tabelle 2). Im Durchschnitt steigt die Lösungsrate nach der Trainingsintervention (87.6% vs. 89.7%). In der Gruppe der leistungsschwächeren Kinder steigen die Lösungsraten von 82.3% auf 86.5%

nach der Ausdauerbelastung, während in der Gruppe der Leistungsstärkeren kein Unterschied zu verzeichnen ist (92.9%). Beide Gruppen machen in inkongruenten Durchgängen durchschnittlich mehr Fehler als in der kongruenten Bedingung (87.4% vs. 89.9%). Dieser Unterschied fällt für die leistungsschwächeren Kinder (81.9% vs. 86.9%) zudem deutlicher aus als für leistungsstärkeren Kinder (92.9% vs. 93.0%). Die Ergebnisse zeigen zudem einen signifikanten Interaktionseffekt für Kongruenz x Alter, d.h. ein höheres Alter geht mit einer höheren Lösungsrate in der kongruenten, nicht aber der inkongruenten Lösungsrate einher. Die Effektstärken liegen für alle Faktoren im mittleren Bereich.

3.2.3 Interferenz

Die nachgeschaltete Analyse der Interferenzen zwischen der kongruenten und inkongruenten Bedingung ergab nur für die Reaktionszeit im Vergleich vor und nach der Ausdauerbelastung einen signifikanten Effekt. So fiel der Unterschied zwischen kongruenter und inkongruenter Bedingung für beide Gruppen nach der Ausdauerbelastung geringer aus. Deskriptiv zeigt sich, dass die leistungsschwächeren Jugendlichen nach der Ausdauerbelastung die gleiche Interferenz produzieren wie die leistungsstärkeren Jugendlichen (14.2 ± 48.9 ms), während sie in der Ruhe noch deutlich höhere Interferenzen aufweisen (53.3 ± 51.6 ms vs. 37.1 ± 35.8 ms).

4 Diskussion

Unsere Ergebnisse bestätigen, dass bereits eine einzelne intensive Ausdauerbelastung eine Verbesserung der Inhibitionsfähigkeit bewirken kann. Insbesondere profitierten durch die Ausdauerbelastung diejenigen Jugendlichen mit niedriger Inhibitionsfähigkeit. In Bezug auf die Reaktionszeiten und die Interferenzmaße zu den Reaktionszeiten erreichen sie nach der Ausdauerbelastung nahezu gleiche Werte wie die Jugendlichen mit hoher Inhibitionsfähigkeit.

Während die kognitiv leistungsstärkeren Jugendlichen sowohl in Ruhe als auch nach der Ausdauerbelastung bessere Lösungsraten bei der kognitiven Aufgabe erreichen, verbessern sich nach der Ausdauerbelastung nur die leistungsschwächeren Jugendlichen. Die Lösungsraten der Leistungsstärkeren bleiben nahezu unverändert.

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass eine einzelne Ausdauereinheit mit mittlerer Intensität die exekutiven Funktionen verbessern kann, nur wenige Studien haben jedoch die Effekte von Trainingseinheiten mit hoher Intensität untersucht (vgl. *Kamijo* u.a. 2004; *Tsukamoto* u.a. 2016). In der vorliegenden Studie, in der der PACER (Feldtest) als Belastungsreiz genutzt wurde, konnte ein positiver Einfluss einer intensiven Belastung auf die exekutiven Funktionen bestätigt werden. *Labelle* u.a. (2013) deutet an, dass ein Ausdauertraining möglicherweise eine Instabilität der kognitiven Leistungsfähigkeit bei Personen mit geringer Fitness fördert, nicht jedoch bei Personen mit hoher Fitness. Allerdings zeigen diese Meta-Analysen auch, dass der Zeitpunkt der Messung einen Einfluss auf die Ergebnisse in den Kognitionstests hat. So zeigen sich bessere Ergebnisse nach Belastungen mit geringer Intensität, wenn die exekutiven Funktionen unmittelbar nach der akuten Belastung getestet werden; wird jedoch mit einem zeitlichen Abstand von bis zu 30 Minuten getestet, dann führt eine intensive Belastung zu besseren Ergebnissen (*Chang* u.a.

2012). In unserer Studie zeigen fitte Jugendliche mit einer besseren Inhibitionsfähigkeit nach der Belastung schlechtere Leistungen in der Lösungsrate, weniger fitte Jugendliche mit geringer Inhibitionsfähigkeit jedoch bessere Leistungen. Ein Grund für dieses Ergebnis liegt möglicherweise in der längeren zeitlichen Belastung in der akuten Trainingseinheit bei den fitten Kindern im Vergleich zu den weniger fitten Kindern. Die zugrunde liegenden physiologischen Wirkmechanismen für den Effekt unterschiedlicher Intensitäten sind nach wie vor unklar, jedoch scheint das richtige Zusammenspiel von Intensität und zeitlichem Umfang der Belastungsreize wichtig für die Regulation von Glukose und Laktat als Energielieferanten für das Gehirn zu sein (Tsukamoto u.a. 2016). Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Personen mit Einschränkungen in der kognitiven Kontrolle in einem höheren Umfang von einmaligen Belastungen profitieren. Insofern stellt solch eine Herangehensweise auch eine gute Möglichkeit dar, individuell maßgeschneiderte Interventionen zu konzipieren, die sich spezifischen Zielgruppen annehmen. Unklar bleibt jedoch, welcher Transfer für Personen mit hoher Leistungsfähigkeit nach einzelnen Belastungsreizen erwartet werden kann. Weitere Studien sollten die Ausdifferenzierung verschiedener Zielgruppen in den Fokus nehmen.

Weiterhin bestätigen unsere Ergebnisse andere Studien, die unterschiedliche Effekte für kongruente und inkongruente Versuchsdurchgänge nach einer Belastung zeigen (vgl. Drollette u.a. 2014; Hillman u.a. 2009; Pontifex u.a. 2013). Aufgaben, die eine höhere Inhibitionskontrolle erfordern – wie sie in der inkongruenten Bedingung nötig sind –, schlagen sich in signifikanten Verbesserungen nieder, während sich bei kongruenten Versuchsdurchgängen bestenfalls Tendenzen feststellen lassen (vgl. Hillman u.a. 2009; Kamijo u.a. 2007; Pontifex u.a. 2013). Dieser Effekt verstärkt sich sogar bei kognitiv leistungsschwächeren Kindern (vgl. Drollette u.a. 2014). So verbessern sich in der vorliegenden Studie diejenigen Jugendlichen mit geringerer kognitiver Leistungsfähigkeit um 5.6% bzw. 7% hinsichtlich der Lösungsrate und um 4.8% bzw. 10.2% hinsichtlich der Reaktionszeiten in den kongruenten bzw. inkongruenten Trials. Jugendliche mit höherer kognitiver Leistungsfähigkeit zeigen hingegen kaum Unterschiede bezüglich der Lösungsrate zwischen kongruenten (1.1%) und inkongruenten Versuchsdurchgängen (-1.7%); nur für die Reaktionszeiten bestätigen sich die höheren Effekte einer Belastung auf inkongruente Trials (6.3%) gegenüber kongruenten Trials (3.7%). Allerdings müssen aufgrund der bis dato nur wenigen Studien mit Kindern und Jugendlichen ($n = 9$ in Chang u.a. 2012; und $n = 4$ in Verburch u.a. 2014) sowie der großen Unterschiede in Intensität, Dauer und Art der Belastung, Erhebung der Fitness (Labor vs. natürliches Setting), Art und Schwierigkeit der kognitiven Leistungsfähigkeit sowie im Verlauf der kognitiven Entwicklung weitere Studien durchgeführt werden, um die selektiven Effekte in dieser Studie besser verstehen zu können.

Einige methodische und inhaltliche Einschränkungen sollen nicht unerwähnt bleiben. Wir haben einzig die Inhibitionsfähigkeit als Indikator für die exekutiven Funktionen untersucht, wobei dies nicht die gesamte Breite der kognitiven Leistungsfähigkeit bei Jugendlichen abdecken kann. Dennoch wurde häufig die Flanker-Aufgabe in bisherigen Studien genutzt, um die Zusammenhänge zwischen Ausdauerleistungsfähigkeit und den exekutiven Funktionen zu untersuchen (vgl. Donnelly u.a. 2016). Weiterhin beruht die Unterscheidung in Jugendliche mit geringerer und höherer kognitiver Leistungsfähigkeit auf einem Mediansplit für die Antwortgenauigkeit bei den inkongruenten Lösungstrials in Ruhe. Drollette u.a. (2014) kommen in ihrer Studie jedoch zu dem Ergebnis, dass es sich um ein valides Maß handelt, um differenzierte Effekte zur Wirkung einer akuten Belas-

tung zu erhalten. Als problematisch zeigt sich weiter die Aufgabenschwierigkeit in der Flanker-Aufgabe. Jugendliche mit höherer kognitiver Leistungsfähigkeit demonstrieren in den kongruenten als auch inkongruenten Versuchsdurchgängen Lösungsraten von über 90 Prozent, sodass Verbesserungen hier nur schwer möglich sind. Zwar wurden für die vorliegende Studie bereits Aufgabeninhalte mit höherer Komplexität in Form von chinesischen Zeichen im Vergleich zu den typischen Inhalten wie Fische oder Pfeile gewählt, dennoch schlagen sich signifikante Verbesserungen „nur“ in den Reaktionszeiten nieder. In zukünftigen Studien sollte die Aufgabenschwierigkeit in Abhängigkeit der gewählten Altersgruppe geprüft werden, um tatsächlich zu differenzierten Ergebnissen kommen zu können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bereits ein einzelner Belastungsreiz mit hoher Intensität zu einer verbesserten Nutzung der verfügbaren Ressourcen bei gleichzeitig verbesserter Handlungskontrolle führt. Dieser Effekt wird insbesondere für Jugendliche wirksam, die über geringere kognitive Kapazitäten verfügen. Diese wie auch andere Ergebnisse bestätigen die Bedeutung des Sportunterrichtes in der Schule wie auch die Aktivierung der „üblichen“ Schulstunden (z.B. Deutsch, Mathematik.) für die Entwicklung der motorischen (vgl. *Hardy* u.a. 2014) als auch kognitiven Leistungsfähigkeit. Für den Alltag bedeuten die Ergebnisse, dass eine akute Ausdauerbelastung beispielsweise zur besseren Fokussierung auf Unterrichtsinhalte beitragen kann, in dem störende Reize (z.B. durch Mitschüler/innen) oder abschweifende Gedanken besser inhibiert werden können. Hingegen ist anhand der Ergebnisse eine intensive Ausdauerbelastung vor einer Klassenarbeit nicht zu empfehlen, da hierfür neben der Inhibitionsfähigkeit weitere kognitive Fähigkeiten erforderlich sind.

Literatur

- Ahamed, Y./Macdonald, H./Reed, K./Naylor, P.J./Liu-Ambrose, T./McKay, H.* (2007): School-based physical activity does not compromise children's academic performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39, 2, S. 371-376.
- Badura, P./Geckova, A.M./Sigmundova, D./van Dijk, J.P./Reijneveld, S.A.* (2015): When children play, they feel better: Organized activity participation and health in adolescents. *BMC public health*, 15, 1, S. 1090.
- Bernitzki, S.* (2006): Referenzwerte gesunder Kinder und Jugendlicher für die Sauerstoffaufnahme in Ruhe, an der individuellen anaeroben Schwelle und bei Ausbelastung auf dem Laufbandergometer. Dissertation. – Bochum.
- Best, J.R.* (2012): Exergaming immediately enhances children's executive function. *Developmental Psychology*, 48, S. 1501-1510.
- Biddle, S.J.H./Sallis, J.F./Cavill, N.* (1998): Young and active: Physical activity guidelines for young people in the UK. – London.
- Bucksch, J./Inchley, J./Hamrik, Z./Finne, E./Kolip, P.* (2014): Trends in television time, non-gaming PC use and moderate-to-vigorous physical activity among German adolescents 2002-2010. *BMC Public Health*, 14, 1, S. 351.
- Caterino, M.C./Polak, E.D.* (1999): Effects of two types of activity on the performance of second-, third-, and fourth-grade students on a test of concentration. *Perceptual and Motor Skills*, 89, S. 245-248.
- Chang, Y.K./Chu, I.H./Chen, F.T./Wang, C.C.* (2011): Dose-response effect of acute resistance exercise on Tower of London in middle-aged adults. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 33, S. 866-883.
- Chang, Y.K./Ku, P.W./Tomporowski, P.D./Chen, F.T./Huang, C.C.* (2012): The effects of acute resistance exercise on late-middle-aged adults' goal planning. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44, S. 1773-1779.

- Chang, Y.K./Labban, J.D./Gapin, J.I./Etnier, J.L. (2012): The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, S. 87-101.
- Chang, Y.K./Tsai, C.L./Huang, C.C./Wang, C.C./Chu, I.H. (2014): Effects of acute resistance exercise on cognition in late middle-aged adults: General or specific cognitive improvement? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17, S. 51-55.
- Cohen, J. (1988): *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. – Hillsdale, NJ.
- Davidson, M.C./Amso, D./Anderson, L.C./Diamond, A. (2006): Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44, S. 2037-2078.
- Diamond, A. (2013): Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, S. 135-168.
- Diamond, A./Lee, K. (2011): Interventions and programs demonstrated to aid executive function development in children 4-12 years of age. *Science*, 333, S. 959-964.
- Donnelly, J.E./Hillman, C.H./Castelli, D./Etnier, J.L./Lee, S./Tomprowski, P./Lambourne, K./Szabo-Reed, A.N. (2016): Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48, S. 1197-1222.
- Drollette, E.S./Shishido, T./Pontifex, M.B./Hillman, C.H. (2012): Maintenance of cognitive control during and after walking in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10, S. 2017-2024.
- Drollette, E.S./Scudder, M.R./Raine, L.B./Moore, R.D./Saliba, B.J./Pontifex, M.B./Hillman, C.H. (2014): Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: An ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 7, S. 53-64.
- Duncan, M./Johnson, A.J. (2014): The effect of differing intensities of acute cycling on preadolescent academic achievement. *European Journal of Sports Science*, 14, 3, S. 279-286.
- Elleberg, D./St-Louis-Deschenes, M. (2010): The effect of acute physical exercise on cognitive function during development. *Psychology of Sport and Exercise*, 11, S. 122-126.
- Eriksen, C.W./Eriksen, B.A. (1974): Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a non-search task. *Perception & Psychophysics*, 25, S. 249-263.
- Graf, C./Beneke, R./Bloch, W./Bucksch, J./Dordel, S./Eiser, S./Woll, A. (2014): Recommendations for promoting physical activity for children and adolescents in Germany. A consensus statement. *Obesity Facts*, 7, 3, S. 178-190.
- Haapala, E.A. (2013): Cardiorespiratory fitness and motor skills in relation to cognition and academic performance in children – A review. *Journal of Human Kinetics*, 36, S. 55-68.
- Hardy, L./O'Hara, B./Rogers, K./St George, A./Bauman, A. (2014): Contribution of organized and nonorganized activity to children's motor skills and fitness. *Journal of School Health*, 84, 11, S. 690-696.
- Heijnen, S./Hommel, B./Kibele, A./Colzato, L.S. (2016): Neuromodulation of aerobic exercise – A review. *Frontiers in Psychology*, 6, S. 1890.
- Henderson, S.E./Sugden, D.A./Barnett, A.L. (2007): *Movement assessment battery for children (examiner's manual)* (2nd ed.). – London.
- Hillman, C.H./Pontifex, M.B./Raine, L.B./Castelli, D.M./Hall, E.E./Kramer, A.F. (2009): The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159, S. 1044-1054.
- Hillman, C.H./Schott, N. (2013): Der Zusammenhang von Fitness, kognitiver Leistungsfähigkeit und Gehirnzustand im Schulkindalter: Konsequenzen für die schulische Leistungsfähigkeit. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 20, 1, S. 33-41.
- Holfelder, B./Schott, N. (2014): Relationship of fundamental movement skills and physical activity in children and adolescents: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, 15, S. 382-391.
- Kibbe, D.L./Hackett, J./Hurley, M./McFarland, A./Schubert, K.G./Schultz, A. u.a. (2011): Ten years of TAKE 10!: Integrating physical activity with academic concepts in elementary school classrooms. *Preventive Medicine*, 52, S. 43-50.
- Kamijo, K./Nishihira, Y./Hatta, A./Kaneda, T./Wasaka, T./Kida, T./Kuroiwa, K. (2004): Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 3, S. 305-311.
- Kamijo, K./Nishihira, Y./Higashiura, T./Kuroiwa, K. (2007): The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. *International Journal of Psychophysiology*, 65, S. 114-121.

- Kromeyer-Hauschild K./Wabitsch, M./Kunze, D. u.a.* (2001): Perzentile für den Body-Mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben. *Monatsschrift für Kinderheilkunde*, 149, S. 807-818.
- Labelle, V./Bosquet, L./Mekary, S./Bherer, L.* (2013): Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain & Cognition*, 81, 1, S. 10-17.
- Lambourne, K./Tomprowski, P.D.* (2010): The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, S. 12-24.
- Manz, K./Schlack, R./Poethko-Muller, C./Mensink, G./Finger, J./Lampert, T.* (2014): Physical activity and electronic media use in children and adolescents. Results of the KiGGS study: First followup (KiGGS wave 1). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 57, 7, S. 840-848.
- McMorris, T./Sproule, J./Turner, A./Hale, B.J.* (2011): Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: A meta-analytical comparison of effects. *Physiology and Behavior*, 102, S. 421-428.
- Meredith, M.D./Welk, G.J.* (Hrsg.) (2010): *Fitnessgram & Activitygram Test Administration Manual* (4th ed). – Champaign, S. 67-82.
- Miyake, A./Friedman, N./Emerson, M./Witzki, A./Howerter, A./Wager, T.D.* (2000): The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 1, S. 49-100.
- Pellegrini, A.D./Bohn, C.M.* (2005): The role of recess in children's cognitive performance and school adjustment. *Educational Researcher*, 34, 1, S. 13-19.
- Pesce, C./Crova, C./Cereatti, L./Casella, R./Bellucci, M.* (2009): Physical activity and mental performance in preadolescents: effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, 2, S. 16-22.
- Pesce, C./Audiffren, M.* (2011): Does acute exercise switch off switch costs? A study with younger and older athletes. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 33, S. 609-626.
- Pesce, C./Cereatti, L./Forte, R./Crova, C./Casella, R.* (2011): Acute and chronic exercise effects on attentional control in older road cyclists. *Gerontology*, 57, S. 121-128.
- Pirrie, A.M./Lodewyk, K.R.* (2012): Investigating links between moderate-to-vigorous physical activity and cognitive performance in elementary school students. *Mental Health and Physical Activity*, 5, 1, S. 93-98.
- Pontifex, M.B./Saliba, B.J./Raine, L.B./Picchiatti, D.L./Hillman, C.H.* (2013): Exercise improves behavioral, neurocognitive, and scholastic performance in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Pediatrics*, 162, S. 543-551.
- Scudder, M.R./Lambourne, K./Drollette, E.S./Herrmann, S./Washburn, R./Donnelly, J.E./Hillman, C.H.* (2014): Aerobic capacity and cognitive control in elementary school-age children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46, S. 1025-1035.
- Sibley, B.A./Etnier, J.L.* (2003): The relationship between physical activity and cognition in children: A meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15, S. 243-256.
- Sibley, B.A./Beilock, S.L.* (2007): Exercise and working memory: An individual differences investigation. *Journal of Sport Exercise Psychology*, 29, S. 783-791.
- Singh, A./Uijtendewilligen, L./Twisk, J.W./van Mechelen, W./Chinapaw, M.J.* (2012): Physical activity and performance at school: A systematic review of the literature including a methodological quality assessment. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 166, 1, S. 49-55.
- Stroth, S./Kubesch, S./Dieterle, K./Ruchsow, M./Heim, R./Kiefer, M.* (2009): Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research*, 1269, S. 114-124.
- Tomprowski, P.D.* (2003): Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, 112, S. 297-324.
- Tsukamoto H./Suga, T./Takenaka, S./Tanaka, D./Takeuchi, T./Hamaoka, T./Isaka, T./Hashimoto, T.* (2016): Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise. *Physiology & Behavior*, 155, 1, S. 224-230.
- Verburgh, L./Koenigs, M./Scherder, E. J./Oosterlaan, J.* (2014): Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48, S. 973-979.
- Wasserman, T./Wasserman, L.D.* (2013): Toward an integrated model of executive functioning in children. *Applied Neuropsychology: Child*, 2, 2, S. 88-96.