

Jörg Woweries und Gudrun Fröhner¹

¹ Korrespondenz Dr. Jörg Woweries: j.wo@sinnphonie.de
 Dr. Gudrun Fröhner: g.froehner@t-online.de

Lizenzierung

Zum Schutz des Urheberrechts wird der Open-Access-Titel mit der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND veröffentlicht.

Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Urheberrnennung die private Nutzung, gestattet aber keine kommerzielle Nutzung.

Das urheberrechtlich geschützte Material darf nur zu privaten, nicht-kommerziellen Zwecken genutzt werden. Eine Veränderung, Bearbeitung oder sonstige Abwandlung des Inhalts ist nicht gestattet ist

Gebt den Kindern Bewegungsraum! Bewegung fördert die Gehirnentwicklung

Zusammenfassung

Bewegung ist in keiner anderen Lebensphase so wichtig wie in der frühen Kindheit. Bewegung und körperliche Aktivität führen zum Wachstum der Gehirnzellen und fördern die Entwicklung von Hirnstrukturen und Hirnfunktionen. Der natürliche Bewegungsdrang der Kinder wird im Alltag jedoch häufig gebremst und körperliche Aktivitäten werden vernachlässigt.

Die Nervenzellen (=Neuronen), die Umschaltstellen der Nervenzellen (=Synapsen) oder ganze Hirnareale werden nicht nur in der Embryonalzeit angelegt, sondern können auch im späteren Leben, bei Jugendlichen und Erwachsenen noch gebildet werden, und sich in Abhängigkeit von Anforderungen anpassen. Für das Gedächtnis sind bestimmte Teile des Gehirns zuständig, allen voran eine Region, die Hippocampus genannt wird. Diese Hirnregion ist für das Gedächtnis als Produzent der Erinnerung eminent wichtig. Es kann die Hypothese aufgestellt werden, dass Hirnfunktionen (Kognition) und Bewegung in Bezug auf das Anwachsen neuer Nervenzellen im Hippocampus sehr eng und kausal miteinander verknüpft sind.

Körperliche Aktivität führt zur Vergrößerung des Hippocampus, was mit einer Verbesserung des Gedächtnisses einhergeht; sie regt die Ausreifung des zentralen Nervensystems an sowie die regionale Neubildung von Nerven. Durch die Magnetresonanztomographie (MRT) konnte an Kindern und Jugendlichen eine Beziehung zwischen gesteigerter aerober Fitness, Wachstum von Hirnstrukturen (z. B. im Hippocampus) und kognitiven Prozessen aufgezeigt werden.

Nach körperlicher Aktivität konnte eine vermehrte Produktion von Nervenwachstumsfaktoren (endogenen Proteinen –gleich Neurotrophinen) beobachtet werden. Berichtet wird über BDNF [*Brain Derived Neurotrophic Factor*], IGF-1 [*Insulin-like Growth Factor-1*] und VEGF [*Vascular Endothelial Growth Factor*], die durch körperliche Aktivität stimuliert werden und so die Neuentwicklung von Nervenzellen (Neurogenese) und die Funktion des Gehirns positiv beeinflussen können. Es wird weiterhin über Laktat berichtet, das sich als Derivat nach sportlicher

Belastung anreichert und mit Muskelermüdung in Zusammenhang gebracht wird und das ebenfalls positiv zum Stoffwechsel für das menschliche Gehirn während körperlicher Aktivität beiträgt.

Es ist entscheidend, dass Kindern bereits in der frühen Kindheit ein körperlich aktiver und für die Gehirnentwicklung günstiger Lebensstil vermittelt wird, den sie möglichst im Erwachsenenalter beibehalten. Wir fordern deshalb Eltern, Ärzte, Lehrer und Erzieher sowie Politiker auf, die körperliche Aktivität von Kindern zu fördern und durch verbesserte Bewegungsmöglichkeiten schon für Kinder im Vor- und Grundschulalter zu beginnen. Sinnvolle Maßnahmen, um dieses Ziel zu erreichen, sind die Einführung von täglicher motorischer Förderung im Kindergarten, die tägliche Sportstunde in der Schule sowie die großflächige Einrichtung von Spielflächen/Spielstraßen in Wohngebieten, damit Kinder gefahrlos draußen spielen können.

1. Bewegung ist ein elementares Bedürfnis kindlichen Lebens.

Bewegung ist in keiner anderen Lebensphase so wichtig wie in der frühen Kindheit. Bewegung ist ein elementares Bedürfnis kindlichen Lebens. Ein starker Bewegungsdrang ist mit einer gesunden körperlichen und geistigen Entwicklung verbunden. Kinder begreifen ihre Umwelt in Bewegung und vielfältige Bewegungserlebnisse fördern ihre sensomotorische Entwicklung. Lange Zeit wurde über negative Aspekte der PISA-Studie diskutiert. Doch diese Ergebnisse dürfen nicht dazu führen, Lernen in sitzender Beschäftigung zu intensivieren und in früher Lebensphase zu beginnen. Damit wird das Prinzip Bewegung als wesentliche Grundlage einer geistigen Entwicklung vernachlässigt.

Die positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf das Herz-Kreislauf-System, weitere innere Organe einschließlich des Hormonsystems sowie auf das Stütz- und Bewegungssystem sind seit Langem bekannt. Gemeint sind Bewegungen bzw. Aktivitäten des Körpers, die oberhalb des üblichen physiologischen Energieumsatzes liegen, also gemäßigte [*moderate*] oder submaximale aerobe Anstrengungen. Viele nationale und internationale Organisationen und Institutionen wie die WHO fordern deshalb, dass sowohl Kindern als auch Jugendlichen für ihre körperliche Aktivität ein ausreichender Bewegungsraum zur Verfügung steht (u. a. 4, 78, 27,15, 59).

Die Kommission für Kinder- und Jugendsport in der DGSP erachtet es als wichtig, dass Kindern bereits in der frühen Kindheit ein körperlich aktiver und für die Gehirnentwicklung günstiger Lebensstil vermittelt wird, den sie möglichst auch im Erwachsenenalter beibehalten. Sie beruft sich dabei auf die wissenschaftlichen Ergebnisse der Neurowissenschaften, welche zur Unterstützung des Anliegens im Folgenden herangezogen werden.

2. Bewegung fördert die Gehirnentwicklung

Unser Hirn besteht aus etwa 100 Milliarden Nervenzellen, die zu einem riesigen Netz verbunden sind. Die Nervenzellen (= Neuronen), die Umschaltstellen der Nervenzellen (= Synapsen) oder ganze Hirnareale können sich in Abhängigkeit von Anforderungen anpassen. Es ist eine lange bekannte Erkenntnis, dass Kinder immer wieder Neues lernen und die Formbarkeit des Gehirns (neuronale Plastizität) in der Kindheit am höchsten ist. Das Gehirn wird bei Kindern durch Denken und Lernen jeder Art entwickelt und durch Interaktionen organisiert. In starker Abhängigkeit von ihrer sozialen und kulturellen Umwelt verläuft nach

der Geburt die weitere Hirnentwicklung. Eine ausgesprochen hohe Anzahl von Synapsen und die erhebliche Plastizität weisen auf eine ausgeprägte Anpassungs- und Lernfähigkeit bereits im Kleinkindesalter hin. Je nach Einflüssen der Umwelt bleiben viele Synapsen und Strukturen des Gehirns erhalten, andere ungenutzte werden abgebaut. Man weiß, dass in der Pubertät das Gehirn partiell umgebaut wird; vor allem im Stirnhirnbereich (präfrontalen Cortex) kommt es mit Beginn der puberalen Phase zu einem besonderen Wachstumsschub (23). In Abhängigkeit von den Anforderungen entstehen bis ins höhere Alter immer neue Synapsen und neuronale Verbindungen. Das Gehirn kann sich im Aufbau und in seiner Funktion verändern, diese Veränderungen werden durch den immer wieder verschiedenartigen Gebrauch des Gehirns flexibler und anpassungsfähiger, sei es durch die sehr komplizierten Steuerungen motorischer Abläufe oder durch andere Denkprozesse (kognitive Prozesse).

Gelegentlich kann man lesen: Bewegung hält den Körper fit – und Gehirntraining das Denkorgan. Stimmt diese gelegentlich verbreitete Unterstellung wirklich? Wir möchten im Folgenden darlegen, in welchem Maß die Hirnentwicklung durch körperliche Aktivität und Bewegung jeder Art beeinflusst werden kann. Es gibt eine Vielzahl an Veröffentlichungen, die aus Tierexperimenten und Erfahrungen an Erwachsenen stammen. Systematischen Untersuchungen von Kindern sind aus methodischen Gründen sehr viel schwieriger. Jedoch muss gefolgert werden, dass die Analysen von Erwachsenen und aus Tierexperimenten im Kernbereich auch für Kinder zutreffen. Man könnte auch den Einwand erheben, dass Versuche an Mäusen oder Ratten sich nicht direkt auf Menschen übertragen lassen. Doch gibt es viele Untersuchungen an Versuchspersonen, deren Ergebnisse analog zu werten sind.

2.1 Neue Nervenzellen für das Gehirn

Nur bestimmte Teile des Gehirns sind für das Gedächtnis zuständig, allen voran der Hippocampus. Diese Hirnregion ist auf beiden Hirnseiten in der Schläfenregion (als Teil des limbischen Systems) angelegt und ist für das Gedächtnis als Produzent der Erinnerung eminent wichtig. Er wird als Tor zum Gedächtnis beschrieben. Diese Region und vor allem eine seiner Umschaltstation für Nervenzellen, die Gyrus dentatus genannt wird, ist „neurogen“, denn hier entstehen neue Zellen im jugendlichen und erwachsenen, also im „adulten“ Alter; mit anderen Worten: diese für das Gedächtnis eminent wichtige Region ist regenerierbar (in der Stammzellforschung wird mit „adult“ die Neurogenese im Gehirn gemeint, die in den Entwicklungsphasen nach der Embryonalzeit auftritt) (40). Die früh getroffene Annahme der Wissenschaftler, dass eine besondere Hirnregion, nämlich der Hippocampus, eine zentrale Rolle spielt, erwies sich als richtig.

Hier kommt körperliche Aktivität ins Spiel: Mäuse und andere Nagetiere wurden bei raffinierten Versuchen von verschiedenen Forschern in Laufbändern oder Laufrädern beobachtet. Es zeigte sich in verschiedenen Versuchsvarianten, dass Mäuse, die sich immer wieder im Laufrad oder Laufband ausdauernd bewegt hatten, eine deutlich gesteigerte Neurogenese hatten. Weil der Hippocampus besonders betroffen ist, kann man daraus schließen, dass Kognition und Bewegung sehr eng und kausal miteinander verknüpft sein könnten (40). In unterschiedlicher Weise steigert eine reizreiche Umgebung die „adulte“ Neurogenese, aber körperliche Aktivität trägt ebenso dazu bei. Es ist unumstritten, dass körperliche Aktivität und Fitness mit messbaren Veränderungen im Gehirn verbunden sind (40), was auch mit der Kernspintomografie gemessen werden konnte (6, 7). Deshalb muss man zur dringenden

Empfehlung kommen (40), grundsätzlich früh mit einem gesunden, reservebildenden Lebensstil zu beginnen, der körperliche Aktivität einschließt. Durch die Bewegungsaktivität im frühen Lebensalter wird eine wirksame Basis für das Erwachsenenalter gelegt (46, 34, 35, 57, 58, 24, 40). Weitere Studien zeigen, dass körperliche Aktivität zur Vergrößerung des vorderen Hippocampus und damit zur Verbesserung des Gedächtnisses führt. Sie regt die Ausreifung des zentralen Nervensystems sowie die regionale Neubildung von Neuronen an (18). Die Zahl der Nervenübergänge (Synapsen) und ihrer Ausläufer (Dendriten) werden stimuliert. Die körperliche Aktivität wirkt damit als Schutzfaktor für das Gehirn und zwar neuroplastisch und neuroprotektiv (81, 30, 80).

2.2 Wachstumsfaktoren

Einen anderen methodischen Weg der Nachweisführung von Bewegungseffekten auf das Gehirn wählten Forscher, die sich mit **Wachstumsfaktoren für das Gehirn**, den Neurotrophinen (= endogenen Proteinen) beschäftigen. In Tiermodellen beobachtet man eine vermehrte Produktion von Nervenwachstumsfaktoren, die im Serum oder Plasma, aber auch in Hirngefäßen gemessen werden können. Durch Bewegung (Laufband oder Laufrad bei Mäusen und Ratten) erfolgt ein Anstieg von Proteinen, die für die Infrastruktur des Gehirns und das Aufrechterhalten der neuronalen Schaltkreise verantwortlich sind. Der Hirnentwicklungsfaktor **BDNF** [*Brain Derived Neurotrophic Factor*] mit den Funktionen der Zellerhaltung und Wachstumsförderung wird erhöht; das ist wichtig für das Lernen und das Gedächtnis (46, 80, 57). Versuche an Mäusen mit Laufräderbelastung zeigten im Hippocampus steigende Werte von BDNF (12); nach 5-wöchigem Laufbandtraining von Mäusen stiegen die Werte im Hippocampus an, aber nicht bei den nicht-trainierten Tieren (60). Je nach der Belastungsart (aerobes Dauertraining, Krafttraining oder andere Übungsformen [*exercise-induced*]) können die erhöhten BDNF-Werte transient oder länger anhaltend nachgewiesen werden (u.a. 44). Aber auch an Versuchspersonen konnten die BDNF-Werte in einer kontrollierten Studie im arteriellem Blut zum Gehirn und venösem Blut vom Gehirn nach einem Ausdauertraining über 3 Monate mit nicht-trainierten Kontrollpersonen verglichen werden (60). Nach 3 Monaten Dauertraining stiegen einerseits die venös gemessenen Werte von BDNF an, und zwar auf Werte, die höher waren als in der Kontrollgruppe, und andererseits bei der Trainingsgruppe unter Ruhebedingungen im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training. Wobei hier angemerkt werden soll, dass die im peripheren Blut gemessenen Werte von BDNF tatsächlich zu einem erheblichen Maß aus dem Gehirn stammen (80, 60). Neurotrophine wie BDNF können die Hirnplastizität unterstützen, auch indem sie die positiven Effekte von psychischer Affektivität auf das Gehirn vermitteln. So kann man den BDNF „als entscheidenden Mediator akut aktivitätsinduzierter Verbesserungen von Leistungen des Langzeitgedächtnisses“ ansehen (80).

Weitere Wachstumsfaktoren sind **IGF-1** [Insulin-like Growth Factor-1] und **VEGF** [*Vascular Endothelial Growth Factor*], die durch körperliche Aktivität stimuliert werden und die Neurogenese positiv beeinflussen (80). IGF-1 kann zusammen mit VEGF Veränderungen der Gefäße im Gehirn bewirken, die durch Aktivität [*exercise-induced*] vermittelt werden (13, 75, 57). VEGF und IGF-1 stimulieren die Gefäßbildung (Angiogenesis), wobei diese mit der Neubildung von Nerven (Neurogenesis) gekoppelt ist (57, 13). Generell kommt es also infolge der körperlichen Aktivität nicht nur zu einer vermehrten Durchblutung der Muskeln und von diversen Organen, sondern auch zu einer Verbesserung der Hirndurchblutung und kognitiven Leistung (57).

Zimmer, Oberste und Bloch (80) machen auf die Funktion des **Laktats** als Derivat körperlicher Aktivität aufmerksam, das sich nach sportlicher Belastung anreichert und mit Muskelermüdung in Zusammenhang gebracht wird. Im Gehirn kann Laktat zur Energieversorgung von Nervenzellen genutzt werden. Pellerin (52) beschreibt, dass in Situationen von größerer Energieanforderung Laktat für Nervenzellen zur Verfügung steht und genutzt wird. Denn das Gehirn ist fähig, Laktat durch einen Transporter (Monocarboxylat-Transporter) zu oxidieren, sowohl unter normalen Bedingungen als auch bei körperlicher Aktivität, obgleich unter normalen physiologischen Bedingungen der Blutzucker (Glucose) die Hauptenergiequelle ist (71). Bei Unterzuckerung (Hypoglycaemie) kann Ausdauertraining die Laktat-Aufnahme des Gehirns über eine Erhöhung der Laktattransporter im Gehirn regulieren, so dass die Energiegewinnung der Gehirnleistung teilweise sichergestellt werden kann (3). Proia et al. (55) sehen ebenfalls, dass Laktat, das während körperlicher Arbeit entsteht, vorteilhaft für die Neuronen ist. Sie beschreiben, dass Laktat die Blut-Hirn-Schranke überwinden, aber auch im Hirn selbst produziert werden kann; damit trägt dieser Stoffwechselweg zur Neuroprotektion bei und verzögert das Altern des Gehirns und die Neurodegeneration. Quistorff und Van Lieshout (56) ließen Freiwillige eine anstrengende Sportübung durchführen und untersuchten das Blut, das zum Gehirn und vom Gehirn weg strömte. Das Blut auf dem Weg zum Gehirn enthält deutlich mehr Laktat als das vom Gehirn abströmende Blut. Sie zeigten, dass das Gehirn von Versuchspersonen bei höherer Laktataufnahme auch weniger Blutzucker (Glukose) für die Oxidation verbraucht, und sie sprechen davon, dass Laktat zum Stoffwechsel für das menschliche Gehirn während körperlicher Aktivität beiträgt [*lactate fuels the human brain during exercise*]. Die von den verschiedenen Autoren vorgestellten Ergebnisse legen nahe, dass bei anstrengender körperlicher Leistung der Muskulatur durch freigesetztes Laktat die Energiegewinnung der Gehirnleistung verbessert wird.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Wachstumsfaktoren in Tierversuchen und auch beim Menschen nachgewiesen worden sind, und zwar nach mehr oder weniger langer Anstrengung oder nach länger dauernden Trainingsperioden.

2.3 Hirnstrukturen und – funktionen in konkretem Bezug zu körperlicher Leistung und zur Art der sportlichen Belastung

Durch die Magnetresonanztomographie (MRT) konnte an Kindern und Jugendlichen eine Beziehung zwischen gesteigerter aerober Fitness, Wachstum von Hirnstrukturen wie den Basalganglien und dem Hippocampus [*Basal ganglia volume and hippocampal volume*] und kognitiven Prozessen aufgezeigt werden (6, 7). Dies war auch bei Erwachsenen nachweisbar (10, 46, 53). Die Eigenschaft von Nervenzellen, Synapsen oder ganzer Hirnareale, sich Anforderungen anzupassen, ist besonders durch körperliche Aktivität für die Entwicklung im Kindes- und Jugendalter gut zu nutzen (20, 61, 33, 19, 40). Der günstige Einfluss von Bewegung und Sport auf das Gehirn und seine Funktionen gilt aber auch noch später im Erwachsenenalter (neben vielen Studien u.a. 68). Åberg (1) konnte zeigen, dass Jugendliche im Alter von achtzehn Jahren, die körperlich fitter waren, auch geistig leistungsfähiger waren; erfasst wurden mehr als 1.2 Millionen Männer bei der militärtauglichen Untersuchung.

In einem Review wurde gezeigt, dass im Kindesalter eine Korrelation von körperlicher Aktivität und Ausdauerleistung [*aerobic fitness*] mit der Hirnfunktion [*cognition*] besteht (37). Die Verbesserung der kognitiven Funktionen des Gehirns durch Bewegung und Sport, beispielsweise für das Erkennen, Wahrnehmen, Erinnern und Denken, wird von verschiedenen Autoren vorgetragen; die geistige Wahrnehmung und Weiterverarbeitung, die Lernfähigkeit und das Abstraktionsvermögen werden durch körperliche Aktivität verbessert (u.a. 61, 25, 6, 7, 57,22). Chaddock (8a) und Chaddock-Heyman (8b) verweisen darauf, dass die Literatur eine Verbindung sieht von aerober Fitness in der Kindheit und höherem Level der Kognition. Dadurch ergeben sich die Entwicklungen der ausführenden (exekutiven) Funktionen des Gehirns, der Fähigkeiten zur Verhaltenssteuerung mit der kognitiven Flexibilität, der Aufmerksamkeits- und Impulskontrolle sowie beim Arbeitsgedächtnis. Der aufnahmefähigere, aufmerksamere und konzentriertere Geisteszustand, ebenso die Verbesserung des Erinnerungsvermögens und des Gedächtnisses werden beschrieben (u.a. 47, 32, 46, 70, 58). In anderer Richtung konnte ein negativer Einfluss von Störungen der motorischen Entwicklung auf schulische Leistungen nachgewiesen werden (38).

Meeussen und Co-Autoren (49) berichten über Forschungsergebnisse an Mäusen oder Ratten an Laufbändern oder Laufrädern. Sie beschreiben, dass nach einem 6-wöchigen Trainingsprogramm ein besseres Gleichgewicht der Neurotransmitter - der Botenstoffe zwischen den Nervenzellen (Neuronen), die zur Signalübertragung am synaptischen Spalt erforderlich sind - erreicht wird. Für die Beeinflussung der Produktion dieser Neurotransmitter ist besonders Glutamat für die Aktivierung zu nennen; weiterhin zu erwähnen sind Dopamin, Serotonin sowie Noradrenalin und Gamma-Aminobuttersäure (GABA), deren Bestand durch Sport und Bewegung optimiert wird. Unter Stress steigt Cortison an und kann zunächst zu einer Erhöhung der Glutamat-Übertragung im Hippocampus beitragen, andererseits kann ein Zuviel an Glutamat zu einer Schädigung der Hippocampus-Zellen führen (46). Bei Patienten mit einem Cushing-Syndrom verursacht ein krankhaft erhöhtes Kortison eine Hippocampus-Schädigung (Atrophie), was mit der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) nachgewiesen werden konnte (65). Andere Autoren (58) konnten bei aerobem Ausdauertraining eine Erhöhung der Stressschwelle, das Reduzieren von Angstgefühlen und das Aufhellen der Stimmung nachweisen, sowie neben der generellen Durchblutungsverbesserung eine vorteilhafte Wirkung auf die Hirnfunktionen und Hirnbeschaffenheit.

Die Kombination von aerober Ausdauerbelastung und koordinativen Anforderungen ist für die Entwicklung der nervalen Funktionen im Kindes- und Jugendalter sehr sinnvoll und hilfreich; wobei koordinative Übungen die Aufmerksamkeit besonders beeinflussen (5). Auch Kramer und Erickson (46) kommen zu ähnlichen Schlüssen: wer körperlich aktiv ist, kann seine kognitiven Hirnfunktion bewahren oder sogar steigern; die meisten Untersuchungen fanden in ihrem Review bei Erwachsenen im mittleren und höheren Alter statt. Sie berichten weiterhin über Studien, die den positiven Einfluss von körperlicher Aktivität [*exercise*] auf Demenz aufzeigen. Zahlreiche Untersuchungen konnten zeigen, dass regelmäßige Bewegung die geistige Lernfähigkeit steigert (z. B. 62, 45, 61, 34, 72, 35, 26, 50, 69, 33, 63, 64, 77, 57, 58, 80).

Angevaren und Mitarbeiter (Cochran Database Review) (2) haben die Literatur nach zufallsverteilten (randomisierten) kontrollierten Versuchen (= RCT) durchleuchtet. Sie registrierten, dass eine Evidenz (=

Beweis) zwischen aerober körperlicher Aktivität (welche die kardiorespiratorische Fitness von älteren Erwachsenen verbessert), und einer Einwirkung auf kognitive Leistungen (motorische Funktion, kognitive Schnelligkeit und Aufmerksamkeit von Hören und Sehen) besteht. Doch bei den meisten Studien fehlten statistisch signifikante Resultate für dieses Gebiet, obgleich man glauben möchte, dass dies möglich sei [*although the temporal association suggests that this might be the case*]. Young und Mitarbeiter (Cochran Database Review) (79) kommen 2015 bei einer erneuten Literaturrecherche auf 12 Studien mit 757 gesunden älteren Menschen (über 55 Jahre). In dieser neueren Cochran Database wurde keine Evidenz gefunden, dass aerobe körperliche Aktivität bei Menschen über 55 Jahre einen Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit hat. Was ergibt sich für die vielen hier dargestellten Studien mit ihren Behauptungen und Hypothesen? Sie werden dadurch nicht unrichtig; es wird nur behauptet, dass Evidenz/Beweis bei älteren Menschen über 55 Jahren im Sinne einer randomisierten kontrollierten Evidenz fehlt. Bei einigen hier dargestellten Studien könnte es möglich sein (insbesondere bei jüngeren und älteren Erwachsenen), dass die verbesserte kardiovaskuläre Fitness mit der verbesserten kognitiven Leistung in Beziehung steht. Allerdings ist kaum eine evidente Beziehung zwischen „Fitness“ und kognitiven Veränderungen zu erwarten, weil die Messung von Fitness zu wenig sensitiv für den Transfer auf Hirnfunktionen ist (46, 21), ein Beweis aus methodischen Gründen also schwierig ist.

2.4 Einflüsse verschiedener Intensitäten der körperlichen Aktivitäten

In den vielfältigen Studien werden jeweils unterschiedliche Anforderungen für körperliche Aktivität von Versuchspersonen gewählt. Haskell und Mitarbeiter (31) sehen bei gesunden Erwachsenen die Anforderungen für die Dauer der körperliche Aktivität, welche die kognitive Leistung beeinflusst, bei einem wöchentlichem Minimum von 150 Minuten moderater (aerober) Intensität oder von 60 min bei intensiver [*vigorous-intensity*] Aktivität plus Krafttraining an zwei oder mehreren Tagen pro Woche. Allerdings ist der Einfluss der Übungen auf die kognitive Leistung bei den einzelnen Personen nicht gleich (61). Die Beziehung von Übungsintensität und kognitiver Leistung sei abhängig von der gewählten kognitiven Aufgabe (72, 9). Ob intensivere Belastungen oder moderate Übungen zu einem stärkeren Anstieg von BDNF führen, ist noch strittig (80). Bei den meisten Trainingsprogrammen wählte man Joggen oder Radfahren mit aerober Belastung, kaum aber Muskel kräftigende Übungen [*resistance exercise*]. Aber auch bei dieser Trainingsform kann ein 30-minütiges Programm eine positive Wirkung auf den kognitiven Prozess [*information processing*] haben, und zwar insofern als hoch intensive Übungen mit 100% Last (es wurde eine Last als 100% bezeichnet, die nach 10 Wiederholungen zur Erschöpfung führt) zur Geschwindigkeit des Fortschritts [*benefits speed of processing*] beitragen, aber moderat intensive Übungen mit 70% und 40% deutlich besser sind für die Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit [*is most beneficial for executive function*] (9). Wenn man nachfragt, welche Intensität der Übungen [*exercise*] erforderlich ist, um die Neutrophinausschüttung zu optimieren, kommt Ploughman (54) zu der Aussage, dass mäßige [*moderate*] Anstrengung wichtig ist. Er untersuchte im Rattenmodell die Intensität der physikalischen Aktivität, die erforderlich ist, um die Ausschüttung der Neutrophine zu optimieren, und fand, dass eine mäßige [*moderate*] Aktivität wichtig ist. Nach längerer Aktivität mit niedriger Intensität war die Neutrophinausschüttung länger anhaltend erhöht [*Sustained increases in neurotrophin levels occur with prolonged low intensity exercise*]. Nach höherer Intensität [*higher intensity exercise*] konnten erhöhte Stresshormone [*Corticosterone*] gemessen werden.

Bei Tierversuchen lässt sich beobachten, dass Mäuse und andere Nagetiere gern lange auf dem Laufband oder im Laufrad laufen, oft stundenlang, auch die ganze Nacht über, viele Kilometer weit; man kann dann Strecken von 3-5 km, sogar bis 12 km messen (40). Das bedeutet, dass sie im aeroben Bereich laufen, mit einer submaximalen Intensität. Bei den Versuchen mit Stammzellen im Gehirn haben die „Dauerläufer“ einen ganz eindeutigen, größeren Erfolg im Anwachsen der Stammzellen im Gehirn vergleichsweise zu den „Nicht-Läufern“ (40). Wenn man nach der Intensität der körperlichen Aktivität bei Versuchspersonen fragt, deutet einiges darauf hin, dass eine moderate aerobe Dauerleistung wirksam ist und zu den positiven Ergebnissen auf das Gehirn beiträgt; die jeweilige Dauer und welcher langfristige Zeitaufwand erforderlich sind, ist noch offen. Es könnte sein, dass der Effekt größer wird, wenn in den Bewegungsablauf kontrollierende, planende Prozesse eingebunden sind (46, 5). In welcher Weise andere Aktivitäten -- wie komplexe motorische Bewegungen, allgemeine Fitness-Übungen, Kraftsport oder verschiedene Trainingskonzepte zusammen -- einen ebenso guten oder besseren Effekt auf die neurokognitive Hirnfunktionen und Hirnstrukturen haben, insbesondere in der Wachstumsphase von Kindern und Jugendlichen, lässt sich noch nicht angeben.

3. Ausblick und Erwartung

Wenn wir Bewegung sozusagen als Medikament empfehlen, ist ein zu wenig an körperlicher Aktivität sicher ein größeres Problem als ein zu viel. Es geht dabei nicht um Minuten, die man pflichtgemäß „abarbeitet“. Es geht um ein gewisses Maß an körperlicher Anstrengung, die zur Gewohnheit führt. Es geht um nachhaltige Veränderungen eines schon im Kindesalter angelegten Lebensstils durch Bewegung und sportliche Aktivität in vielfältiger Form; damit meinen wir nicht den Sport, der Leistungsspitzen als Ziel hat. Man sollte in der Kindheit und in der Jugendzeit beginnen, das kann/sollte aber in der Erwachsenenzeit und im höheren Alter fortgesetzt werden. Körperliche Aktivität ist ein kostengünstiger Weg, um die Hirnfunktionen wesentlich zu beeinflussen. Die Schäden, die den nachwachsenden Generationen durch Missachtung der wissenschaftlichen Erkenntnisse zugefügt werden, sind das eigentliche Problem. Nicht zu vergessen ist die seit langer Zeit von Sportmedizinern und Sportwissenschaftlern geforderte tägliche Bewegungsstunde / tägliche Sportstunde, die in der Lage ist, dem Bewegungsmangel entgegenzuwirken. Wir möchten an den bekannten lateinischen Spruch des Dichters Juvenal erinnern: *„orandum est ut sit mens sana in corpore sano“*. [Beten sollte man, dass ein gesunder Geist in einem gesunden Körper sei]. Das war und ist eine Aufforderung an den eigenen Lebensstil.

Die bisherigen Kenntnisse der Hirnforschung sind jetzt schon so weit konsolidiert, dass sie unbedingt genutzt werden sollten, um Einfluss auf den Bildungsweg von Kindern und Jugendlichen zu nehmen. Wir weisen dazu auf die Arbeiten von Kempermann (39) sowie von Zimmer, Oberste und Bloch (80) hin sowie auf das Editorium „Bewegt Euch“ von Pagenstert (51) mit dem ergänzenden Aufsatz von Hutterer „Das Gehirn“ und dem wichtigen Hinweis auf das Buch von Kempermann „Die Revolution im Kopf“.

Wir fordern deshalb Eltern, Ärzte, Lehrer und Erzieher sowie Politiker auf, die körperliche Aktivität und Bewegungsmöglichkeiten von Kindern zu fördern; sie ist in allen Altersstufen sinnvoll, sollte aber schon für Kinder im Vor- und Grundschulalter begonnen werden. Sinnvolle Maßnahmen, um dieses Ziel zu erreichen,

sind die Einführung von täglicher motorischer Förderung im Kindergarten, die tägliche Sportstunde in der Schule sowie die großflächige Einrichtung von Spielflächen/Spielstraßen in Wohngebieten, damit Kinder gefahrlos draußen spielen können.

4. Literatur:

- 1.) ÅBERG, MAI et al. Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood. *Proc Natl Acad Sci USA*, 106, 2009, 20906-20911.
- 2.) ANGEVAREN M, AUFDEM KAMPE G, VERHAAR HJ, ALEMAN A, VANHEES L. Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev*. 2008 Apr 16; (2):CD005381. DOI: 10.1002/14651858.CD005381.pub2.
- 3.) AVESEH M, NIKOOIE R, SHEIBANI V, ESMAEILI-MAHANI S. Endurance training increases brain lactate uptake during hypoglycemia by up regulation of brain lactate transporters. *Mol Cell Endocrinol*. 394(1-2), 2014, 29-36. DOI:10.1016/j.mce.2014.06.019.
- 4.) BERENSON, GS: Cardiovascular Health Promotion for Children: A Model for a Parish (County)-Wide Program (Implementation and Preliminary Results). *Preventive Cardiology*. 2009. DOI: 10.1111/j.1751-7141.2009.00049.x
- 5.) BUDDE H, VOEKER-REHAGE C, PIEDTRABYK-KENDZIORA S, PIPEIRO P, TIDOW G. Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neurosci. Lett*. 441 (2), 2008. 219-223.
- 6.) CHADDOCK L et al. (a). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, 1358, 2010a, 172–183.
- 7.) CHADDOCK L, ERICKSON KI, PRAKASH ES, VANPATTER M, VOSS MC, PONTIFEX MB, RAINE LB, HILLMAN CH, KRAMER AF (b). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental Neuroscience*, 32, 2010b, 249–256.
- 8a.) CHADDOCK L, PONTIFEX MB, HILLMAN CH, KRAMER AF (c) A Review of the Relation of Aerobic Fitness and Physical Activity to Brain Structure and Function in Children. *Journal of the International Neuropsychological Society* 2011, 17, 1–11. DOI: 10.1017/S1355617711000567
- 8b.) CHADDOCK-HEYMAN L, HILLMAN CH, COHEN NJ, KRAMER AF. The importance of physical activity and aerobic fitness for cognitive control and memory in children. *Monogr Soc Res Child Dev*. 2014 Dec; 79 (4):25-50. DOI: 10.1111/mono.12129.
- 9.) CHANG YK, ETNIER JL. Exploring the dose-response relationship between resistance exercise intensity and cognitive function. *J Sport Exerc Psychol*. 31, 2009, 640 – 656.
- 10.) COLOMBE SJ, ERICKSON KI, KRAMER AF et al. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci*. 61, 2006, 1166–1170.
- 11.) CORDOVA C, SILVA VC, MORAES CF, SIMOES HG, NOBREGA OT. Acute exercise performed close to the anaerobic threshold improves cognitive performance in elderly females. *Braz J Med Biol Res*. 2009; 42(5):458-464. doi: 10.1590/S0100-879X2009000500010

- 12.) COTMAN CW, BERCHTOLD NC. Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends Neurosci.* 25, 2002, 295 – 301.
- 13.) COTMAN CW, BERCHTOLD NC, CHISTIE LA. Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends Neurosci.* 30, 2007, 464 – 472.
- 14.) DING DING et al. The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases. *Lancet Physical Activity Series*, 2016. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30383-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30383-X)
- 15.) DOLL-TEPPER G, JUNGKAMP B. Schulsport. Gemeinsame Handlungsempfehlungen der Kultusministerkonferenz und des Deutschen Olympischen Sportbundes zur Weiterentwicklung des Schulsports. Pressekonferenz am 20.11.2007.
- 16.) EKELUND U et al. Does physical activity attenuate, or even eliminate, the detrimental association of sitting time with mortality? A harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women. *The Lancet, Physical Activity Series.* 2016. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30370-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30370-1)
- 17.) ELLIOT R.: Was geht da drinnen vor? Die Gehirnentwicklung in den ersten fünf Lebensjahren. Berlin, 2002.
- 18.) ERICKSON KI, VOSS M, PRAKASH R, BASAK C, CHADDOCK L, KIM J.,... KRAMER AF. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), 2011, 3017–3022.
- 20.) ERIKSSON PS, PERFILEVA E, BJÖRK-ERIKSSON T, ALBORN AM, NORDBORG C. Neurogenesis in The adult human hippocampus. *Nat. Med.* 4(11), 1998, 1313 – 1317.
- 19.) ERICKSON KI, LECKIE RL, WEINSTEIN AM. Physical activity, fitness, and gray matter volume. *Neurobiolog Aging* 35 (Suppl.2), 2014, 20 – 28.
- 21.) ETNIER JL, NOVELL PM, LANDERS DM, SIBLEY BA. A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Res. Rev.* 52, 2006, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.01.002>
- 22.) FEDEWA AL, AHN S. The effects of physical activity and physical fitness on childrens achievement and cognitive outcomes: A meta-analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport.* 82(3), 2011, 521-535.
- 23.) GIEDD JN. The Teen Brain: Insights from Neuroimaging. *Journal of Adolescent Health*, 42, 2008, 335 – 343.
- 24.) GLOBAL COUNCIL on BRAIN HEALTH. The Brain-Body Connection. Recommendations on Physical Activity and Brain Health. 2016.
- 25.) GOSCHKE T. Volition und kognitive Kontrolle. In: Müsseler J (Hrsg). *Allgemeine Psychologie.* Aufl. Berlin u.a. Spektrum Akademischer Verlag, 2008, 232-294.
- 26.) GRAF C, KOCH, B., KLIPPEL S., BÜTTNER S. et al. Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und Konzentration – Eingangsergebnisse des CHILT – Projektes. *Deutsche Z Sportmedizin* 54 (9), 2003. 242 – 246.

- 27.) GRAF C, DORDEL S, KOCH B, PREDEL H-G. Bewegungsmangel und Übergewicht bei Kindern und Jugendlichen. Deutsche Z Sportmed, 57 2006, 220-224.
- 28.) GRAF C. et al. Vorschläge zur Förderung der körperlichen Aktivität im Kindes- und Jugendalter in Deutschland – ein Expertenkonsens. Monatsschr Kinderheilkd 161, 2013, 439ff. DOI 10.1007/s00112-012-2863-6. Kurzfassung URL: http://daten2.verwaltungsportal.de/dateien/seitengenerator/2013-kurzversion_expertenkonsens_bewegung_bei_kindern_und_jugendlichen.pdf [30.8.2017]
- 29.) GRAF C. Die Rolle der körperlichen Aktivität im Kontext der kindlichen Adipositas. Eine Stellungnahme von Christine Graf im Auftrag der Kommission Kinder- und Jugendsport der DGSP. <http://www.dgsp.de/seite/278017/kinder-jugendsport.html>
- 30.) GRIFFIN EW et al. Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of Young adult males. Physiol. Behav. 104, 2011, 934-941.
- 31.) HASKELL WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al., American College of Sports Medicine; American Heart Association. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. Circulation 116, 2007, 1081 – 1093.
- 32.) HILLMAN CH, CASTELLI DM, BUCK SM. Aerobic fitness and neurocognitive function in healthy preadolescent children. Med Sci Sports Exerc 37, 2005, 1967-1974.
- 33.) HILLMAN CH, ERICKSON KI, KRAMER AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. Nat Rev Neurosci 9 , 2008, 58 – 65.
- 34.) HOLLMANN W, STRÜDER H, TAGARAKI S: „Gehirn und körperliche Aktivität" in: Sportwissenschaft" (2005)
- 35.) HOLLMANN W, STRÜDER H In: "Lehrbuch der Sportmedizin" (2009).
- 36.) HUBER D, KÖPPEL M. Analyse der Sitzzeiten von Kindern und Jugendlichen zwischen 4 und 20 Jahren. Dtsch Z Sportmed. 2017; 68: 101-106. DOI: 10.5960/dzsm.2017.278
- 37.) KHAN NA, HILLMAN CH The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: a review. Pediatr Exerc Sci. 2014 May; 26(2), 2014, 138-46. Epub 2014 Apr 10. DOI: 10.1123/pes.2013-0125.
- 38.) KASTNER J, PETERMANN F. Entwicklungsbedingte Koordinationsstörungen und Lernverhalten. Monatsschrift Kinderheilkunde. 138 (5), 2010, 455-462.
- 39.) KEMPERMANN G. Neurodegenerative Erkrankungen und zelluläre Plastizität als sportmedizinische Herausforderung. Dtsch Z Sportmed. 2015; 66: 31-35. DOI: 10.5960/dzsm.2015.163. URL: <http://www.zeitschrift-sportmedizin.de/en/articles-online/archiv-2015/heft-2/kempermann-neurodegenerative-erkrankungen-und-zellulaere-plastizitaet-als-sportmedizinische-herausforderung-kurztitel-neurodegeneration-und-zellulaere-plastizitaet/> [30.8.2017]
- 40.) KEMPERMANN G. Die Revolution im Kopf. Wie neue Nervenzellen unser Gehirn ein Leben lang jung erhalten. Drömer Verlag, 2016

- 41.) KESZTÜS D, STEINACKER JM. Health and Economy – Why We Need to Promote Physical Activity in Children. *Deutsch Z Sportmed*, 68, 2017, 85-91
- 42.) KESZTÜS D, STEINACKER JM. Gesundheit und Ökonomie – warum wir körperliche Aktivität bei Kindern fördern sollen. *Deutsch Z Sportmed*, 68, 2017, 92.
- 43.) KIGGS Studie, Robert-Koch- Institut. Erste Folgebefragung 2009-2012. http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsF/KiGGS_W1/kiggs1_fakten_koerp_aktivitaet.pdf?__blob=publicationFile
- 44.) KNAEPEN K, GOEKINT M, HEYMAN EM, MEEUSEN R. Neuroplasticity - exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: a systematic review of experimental studies in human subjects. *Sports Med*. Sep 1;40(9), 2010, 765-801
- 45.) KRAMER AF, et al. (1999). Aging, fitness and neurocognitive function. *Nature* 1999; 400: 418-419. DOI: 10.1038/22682
- 46.) KRAMER AF, ERICKSON KI. Capitalizing on cortical plasticity: influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends Cogn Sci*. 2007 Aug, 11(8), 342-348. DOI:10.1016/j.tics.2007.06.009
- 47.) KUBESCH S. Sportunterricht. Training für Körper und Geist. *Nervenheilkunde*. 21, 2002, 487 – 490.
- 48.) KUBESCH S, WALK L. Körperliches und kognitives Training exekutiver Funktionen in Kindergarten und Schule. *Sportwiss*. 4, 2009, 309-317.
- 49.) MEEUSSEN R et al. Neurotransmitter im Gehirn während körperlicher Belastung. *Dtsch. Z. Sportmed*. 52(12), 2001, 361 – 368.
- 50.) PAG: Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report. (PAG) 2007, Part G, Section 9: Youth G9.1-G9.26. 2007
- 51.) PAGENSTERT G. Bewegt Euch. *Dtsch. Z. Sportmed*. 68 Jg. 2017, 51-52. URL: http://www.zeitschrift-sportmedizin.de/fileadmin/content/archiv2017/Heft_3/Editorial_Pagenstert_Bewegt_Euch_2017-03.pdf. [30.8.2017]
- 52.) PELLERIN L. (2003). Lactate as a pivotal element in neuron-glia metabolic cooperation. *Neurochem Int*. 43(4-5), 2003, 331-338. DOI: 10.1016/S0197-0186(03)00020-2
- 53.) PEREIRA A.C. et al. An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 2007, 5638–5643
- 54.) PLOUGHMAN M. Exercise is brain food: the effects of physical activity on cognitive function. *Dev Neurorehabil*. Jul; 11(3), 2008, 236-40. DOI: 10.1080/17518420801997007.
- 55.) PROIA P et al. Lactate as a Metabolite and a Regulator in the Central Nervous System. *Int J Mol Sci*. 2016 September; 17(9): 1450. DOI: 10.3390/ijms17091450

- 56.) QUISTORFF B, VAN LIESHOUT JJ. Lactate fuels the human brain during exercise. *The FASEB Journal* vol. 22 no. 10, 2008, 3443-3449. DOI: 10.1096/fj.08-106104
- 57.) RATEY JJ, LOEHR JE. The positive impact of physical activity on cognition during adulthood: a review of underlying mechanism, evidence recommendations. *Reviews in the Neurosciences*. 22(2), 2011, 171-185.
- 58.) RATEY JJ, HAGERMAN E. Superfaktor Bewegung. Das Beste für das Gehirn. Kirchzarten bei Freiburg: VAK Verlags GmbH. (2013).
- 59.) RÜTTEN A, PFEIFER K (Hrg). Nationale Empfehlungen für Bewegung und Bewegungsförderung (auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages). 2016
- 60.) SEIFERT T et al. Endurance training enhances BDNF release from the human brain. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2010; 298(2):R372-R377. DOI:10.1152/ajpregu.00525.2009.
- 61.) SIBLEY BA, ETNIER JL. The Relationship between Physical Activity and Cognition in Children: A Meta – Analysis. *Pediatric Exercise Science*. 15, 2003, 243 – 256.
- 62.) SPITZER M. Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. (1996).
- 63.) SPITZER M. Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens. Heidelberg Berlin: Spektrum Akademischer Verlag. (2002).
- 64.) SMITH PJ et al. Aerobic exercise and neurocognitive performance: a meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosom Med* 72, 2010, 239 – 252.
- 65.) STARKMAN M et al. Decrease in cortisol reverses human hippocampal atrophy following treatment of Cushing's disease. *Biol Psychiatry*. 1999 Dec 15;46(12):1595-602. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3223\(99\)00203-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3223(99)00203-6)
- 66.) STOBART JL, ANDERSON CM. Multifunctional role of astrocytes as gatekeepers of neuronal energy supply. *Front Cell Neurosci*. 2013, 7:38. DOI:10.3389/fncel.2013.00038.
- 67.) SPEAR BA, BARLOW SE, ERVIN C et al. Recommendations for treatment of child and adolescent overweight and obesity. *Pediatrics* 2007; 120:254-288
- 68.) STERR A. Neuronale Plastizität. In: Gauggel S und Herrmann M (Hrsg). *Handbuch der Neuro- und Biopsychologie*. Göttingen u.a. Holzgrefe Verlag GmbH & Co.KG (2008) 44-53.
- 69.) STRONG WB et al. Evidence-based physical activity for school-age Youth. In: *J Pediatrics* 146, 2005, 732-737
- 70.) STROTH S, HILLE K, SPITZER M, REINHARDT R. Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults. *Neuropsychol. Rehabil*. 19, 2009, 223-243.
- 71.) TAKIMOTO M, HAMADA T. Acute exercise increases brain region-specific expression of MCT1, MCT2, MCT4, GLUT1, and COX IV proteins. *Journal of Applied Physiology*. Published 1 May 2014. Vol. 116, 1238-1250. DOI: 10.1152/jappphysiol.01288.2013

- 72.) THEMANSON JR, PONTIFEX MB, HILLMAN CH. Fitness and action monitoring: evidence for improved cognitive flexibility in young adults. *Neuroscience* 157, 2008, 319 – 328.
- 73.) VAN DER HORST et al. A brief review on correlates of physical activity and sedentariness in youth. *Med Sci Sports Exerc* 39, 2007, 1241-1250
- 74.) VEERMAN J L et al. Television viewing time and reduced life expectancy: a life table analysis. *Br J Sports Med* 46, 2012, 927-930.
- 75.) VITAL TM, STEIN AM, DE MELO COELHO FG, ARANTES FJ, TEODOROV E, SANTOS-GALDURÓZ RF. Physical exercise and vascular endothelial growth factor (VEGF) in elderly: A systematic review. *Arch Gerontol Geriatr.* 2014; 59(2):234-239. DOI:10.1016/j.archger.2014.04.011.
- 76.) VOSS MW, NAGAMATSU LM, LUI-AMBROSE T, KRAMER AF. Exercise, brain, and cognition across the life span. *J. Appl. Physiol.* 111, 2011, 1505-1513.
- 77.) WALK L. Lernrelevante Erkenntnisse der Gehirnforschung. Bewegung formt das Hirn. *Zeitschrift für Erwachsenenbildung.* 1, 2011, 27 – 29.
- 78.) WHO. Global recommendations on physical activity for health. World Health Organisation, Genf (2010).
- 79.) YOUNG J, ANGEVAREN M, RUSTED J, TABET N. Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015 Apr 22;(4):CD005381. DOI: 10.1002/14651858.CD005381.pub4.
- 80.) ZIMMER P, OBERSTE M, BLOCH W. Einfluss von Sport auf das zentrale Nervensystem – Molekulare und zelluläre Wirkmechanismen. *Dtsch Z Sportmed* 66 (2), 2015, 42 – 49. DOI: 10.5960/dzsm.2015.164. URL: <http://www.zeitschrift-sportmedizin.de/artikel-online/archiv-2015/heft-2/einfluss-von-sport-auf-das-zentrale-nervensystem-molekulare-und-zellulaere-wirkmechanismen/> [30.8.2017]
- 81.) ZOLDZ JA et al. Endurance training increases plasma brain-derived neurotropic factor concentration in young healthy men. *J Physiol Pharmacol* 59, Suppl. 7, 2008, 119-132.