

## **РАЗДЕЛ 1. ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ ДУХОВНОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ**

УДК 612.82:616-082

DOI: [https://doi.org/10.14258/zosh\(2022\)4.04](https://doi.org/10.14258/zosh(2022)4.04)

### **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ЗДОРОВЬЕ МОЗГА И КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ**

**Третьякова Вера Дмитриевна**

кандидат химических наук, научный сотрудник. Московский государственный психолого-педагогический университет. Москва. Россия. ORCID: 0000-0003-1632-6817.

Email: vera.d.tretyakova@gmail.com

### **THE INFLUENCE OF VARIOUS TYPES OF PHYSICAL ACTIVITY ON BRAIN HEALTH AND COGNITIVE FUNCTION**

**Tretyakova Vera Dmitrievna**

PhD, Researcher at Moscow State University of Psychology and Education. Moscow, Russia.

ORCID: 0000-0003-1632-6817. Email: vera.d.tretyakova@gmail.com

#### **Аннотация**

Малоподвижный образ жизни является одной из важнейших проблем современности поскольку отсутствие физической активности негативно сказывается на здоровье человека. Многие люди не занимаются сердечно — сосудистыми и силовыми упражнениями из-за боязни получить травму, другая группа людей просто не любит активно двигаться. Однако, на сегодняшний день собрано достаточно доказательств того, что не только метаболические, но и балансовые, координационные и в некоторой степени упражнения на растяжку положительно влияют на здоровье мозга и организма в целом. Поэтому, учитывая весь спектр положительного влияния физических упражнений, а также разнообразие возможных типов физической активности становится возможным подобрать программу упражнений с учетом индивидуальных особенностей и потребностей человека.

Ключевые слова: мозг человека, здоровье, физическая активность, когнитивные нарушения

#### **Annotation**

A sedentary lifestyle is one of the most important problems of our time, because of the absence of physical activity negatively affects human health. Many people don't take a part in cardiovascular and strength exercises for fear of injury, another group of people simply don't like to actively move. However, in present time, enough evidence has been collected that not only metabolic, but also balance, coordination and, to some extent, stretching exercises have a positive effect on the health of the brain and the body as a whole. Therefore, taking into account the whole range of positive effects of physical exercises, as well as the variety of possible types of physical activity, it becomes possible to choose an exercise program taking into account the individual characteristics and needs of a person.

Key words: human brain, health, physical activity, cognitive impairment

## Введение

Известно, что нормальное старение головного мозга человека характеризуется общей церебральной атрофией: сокращением объемов серого (особенно префронтальные, височные доли и гиппокамп) и белого вещества, а также увеличением объема желудочков и спинномозговой жидкости. Считается, что большинство из этих изменений предшествуют когнитивным нарушениям и в итоге приводят к ним (Fjell and Walhovd, 2010). Возрастные когнитивные нарушения в основном влияют на скорость обработки информации и решение задач, требующих памяти и исполнительных функций (планирование, рассуждение и пр.) (Blazer et al., 2015). Вместе с тем, с возрастом из-за поражения трактов белого вещества нарушается проводимость нервных сигналов (Dong et al., 2015), что отражается на функциональной нейронной эффективности (Serra et al., 2011), это также может приводить к ухудшению когнитивных функций. Кроме того, в связи со снижением уровня нейротрофинов и трофических факторов, дисбалансом нейротрансмиттеров (Mattson et al., 2004) и отложением агрегатов токсичных белков (таких как бета-амилоид) возникает неблагоприятная нейрохимическая среда, что приводит к увеличению количества свободных радикалов и нарушению функции нейронов (Hsieh et al., 2006).

За последнее время появилось множество работ, посвященных исследованию положительного влияния физической формы (Colcombe et al., 2004; Erickson et al., 2011), физической активности (ФА) и упражнений (Voelcker-Rehage and Niemann, 2013) на структуру и функционирование мозга, а также снижение скорости появления возрастных когнитивных нарушений и возникновения нейродегенеративных заболеваний.

Многочисленные исследования показали, что умеренные и высокие уровни физической активности или упражнений могут быть связаны с большими объемами головного мозга, более низкими показателями атрофии, лучшими когнитивными функциями и меньшим риском развития деменции у пожилых людей (Heun et al., 2004; Varma et al., 2015). Кроме того, показано, что ФА действует как антидепрессант и анксиолитик (Cooney et al., 2013) и в дополнение к когнитивным функциям может улучшать настроение и самооценку. Также, в ряде исследований сообщается о противовоспалительном (Elosua et al., 2005) и обезболивающем (Da Silva Santos and Galdino, 2018) эффекте ФА. С 1960-х годов было известно, что длительный бег может вызвать так называемый «кайф бегуна» — внезапное чувство эйфории и благополучия, сопровождающееся обезболиванием.

Положительное воздействие ФА на головной мозг (а также на другие органы, например сердце) частично опосредовано пептидами (миокинами) и их метаболитами, высвобождаемыми в кровь в результате эндокринной активности сокращающихся мышц (Delezie and Handschin, 2018). Кроме того, благотворное влияние физической активности связано с увеличением мозгового кровотока и максимального потребления кислорода, т.е. более эффективной доставкой кислорода к тканям головного мозга (Hillman et al., 2008). Помимо этого, лактат, и нейротрофический фактор роста нейронов (BDNF), вырабатываемые во время физических упражнений, могут оказывать стимулирующее действие на процессы обучения и памяти (Tari et al., 2019).

Как отмечалось выше, одно из объяснений эффектов, улучшающих структуру и функционирование мозга, может заключаться в том, что ФА стимулирует кровообращение в нейронных цепях, участвующих в когнитивном функционировании (Erickson et al., 2012). Другую интерпретацию можно найти, обратившись к «теориям когнитивного старения» (Третьякова, 2022), например, *теории резерва* (Stern, 2002), которая объясняет, почему при сходной степени нейродегенеративных изменений люди значительно различаются по степени тяжести когнитивных нарушений (Petrosini et al., 2009). Различают два типа резервов, которые могут быть задействованы для компенсации в случае поражения головного мозга: мозговой и когнитивный. Первый основан на защитном потенциале анатомических

особенностей, таких как размер мозга, плотность нейронов и синаптических связей, второй - на компенсации за счет выстраивания дополнительных связей между нейронными цепями для увеличения эффективности работы мозга (Stern, 2002; Mandolesi et al., 2017). Поскольку выполнение физических упражнений положительно влияет как на структуру (Colcombe et al., 2006), так и функциональную связанность мозга (Voss et al., 2010a,b), то можно утверждать, что ФА является фактором окружающей среды, позволяющим увеличивать указанные резервы.

Согласно другой теории (сенсорной депривации), большая часть возрастной дисперсии когнитивных параметров может быть связана с сенсорным (например, зрительным), а не когнитивным снижением (Lin et. al., 2004). Регулярная ФА сокращает общее время реакции, способствует быстрому восприятию стимулов и улучшает зрительное внимание у пожилых людей (Pesce et. al., 2011), что в свою очередь может быть связано более сохранными когнитивными функциями.

Положительное влияние ФА на когнитивные функции может появляться уже после одной тренировки (Gliner et. al., 1979). Однако, в работе (Chan et. al., 2011) показано, что регулярное выполнение упражнений приводит к большим положительным эффектам нежели однократное. Тут так же стоит подчеркнуть, что, хотя регулярные упражнения могут улучшать работу иммунной системы, которая ухудшается при малоподвижном образе жизни, резкий переход и чрезмерно тяжелая физическая активность может негативно сказаться на здоровье (Schwellnus et. al., 2016) и иметь даже обратный эффект (Krüger et. al., 2016). Другими словами, положительное влияние за здоровье мозга (и здоровье организма в целом), оказывает адекватный уровень физической активности на протяжении всей жизни, о чем говорят, как поведенческие, так и визуализационные данные (Voelcker-Rehage et. al., 2010).

Понятие «физической формы» включает в себя несколько параметров, таких как физическая (например, здоровье сердечно-сосудистой системы и мышечная сила) и двигательная (моторная) подготовленность (например, баланс, ловкость, координация и гибкость). В работе (Voelcker-Rehage and Niemann, 2013) физические упражнения также разделяют на типы: метаболические (кардио и силовые) и координационные, которые соответственно влияют на физическую или двигательную подготовленность. В ряде работ сообщается, что указанные составляющие физической формы, также как и различные типы упражнений могут оказывать разное воздействие на структуру мозга и когнитивные процессы (Voelcker-Rehage and Niemann, 2013; Voelcker-Rehage et.al., 2010), при этом до сих пор остается неясным, какие типы упражнений необходимы для запуска конкретных изменений. В данном обзоре будут рассмотрены различные виды физической активности и подготовленности, их влияние на здоровье мозга и когнитивные функции. В частности, попытаемся ответить на вопрос, как различные типы физических упражнений влияют на наиболее уязвимые к возрастным изменениям параметры когнитивного функционирования - скорость обработки информации, память и исполнительные функции и может ли ФА помочь в их поддержании и улучшении.

### **Метаболические упражнения (физическая подготовленность)**

В большинстве исследований, изучающих корреляцию между физической подготовленностью и функциями мозга, используются аэробные (сердечно-сосудистые, кардиореспираторные) упражнения. Такие упражнения подразумевают выполнение высокоавтоматизированных движений, например, ходьба, бег или езда на велосипеде. Однако, для пожилых людей, ведущих малоподвижный образ жизни, аэробные упражнения могут вызывать стимуляцию, подобно тому, как это происходит при выполнении координационных упражнений (Voelcker-Rehage and Niemann, 2013), т.е. может требоваться обучение координации движений (обучение моторике). Другими словами, ходьба для

нетренированных пожилых людей может требовать определенного когнитивного контроля (Yogev-Seligmann et al., 2008) и необходимости изучить конкретную технику ходьбы.

Аэробные упражнения вызывают в организме метаболические, респираторные и сердечно-сосудистые изменения (Wasserman et al., 2005). Известно, что сердечно-сосудистая система, как один из аспектов физической подготовки, связана с лучшими процессами исполнительного контроля (Hillman et al., 2008). В исследовании (Kramer et al., 1999) сообщается, что после шести месяцев тренировок участники аэробной группы показали более высокие результаты в исполнительных задачах по сравнению с контрольной группой. В работе (Colcombe et al., 2004) эти поведенческие эффекты были подтверждены и дополнены результатами визуализации мозга, показавшей для группы, занимающейся аэробными упражнениями более эффективную обработку в префронтальной, теменной и передней поясной коре. Авторы (Colcombe et al., 2004) показали, что после тренировки сердечно-сосудистой системы пожилые люди более эффективно используют когнитивные ресурсы, и их когнитивные способности улучшаются. Кроме того, было показано, что люди с хорошей аэробной подготовкой меньше реагировали на отвлекающие стимулы (при выполнении задачи Фланкера) и характер их мозговой активации, был аналогичен тому, который демонстрировался более молодыми участниками из контрольной группы. Точно так же в поперечном исследовании (Hillman et al., 2006), в котором принимали участие люди в возрасте 15–71 года, авторы показали, что более высокий уровень физической активности (оцениваемый по индексу потоотделения) был связан с более быстрым временем реакции в конгруэнтных и неконгруэнтных условиях задачи Фланкера. Кроме того, более высокий уровень ФА положительно влиял на точность при выполнении задачи Фланкера с некогнурентными условиями, что было особенно очевидно для пожилых участников.

Биологические механизмы действия аэробной физической активности в основном связывают с увеличением мозгового кровотока и максимального потребления кислорода в следствии стимулирования ангиогенеза (Hillman et al., 2008) и увеличения диаметров сосудов (Pereira et al., 2007). Улучшение кровоснабжения мозга оказывает влияние на ряд важных когнитивных процессов, таких как память (Pereira et al., 2007) и исполнительные функции (Dupuy et al. 2015). Таким образом, можно предположить, что более тренированная сердечно-сосудистая система или введение аэробных тренировок могут влиять на такие области мозга как гиппокамп и префронтальная кора, особенно чувствительные к возрастным изменениям и, соответственно, способствовать их лучшему функционированию.

В работе (Voelcker-Rehage et al. 2011) авторы обнаружили, что после 12-месячной программы сердечно-сосудистых тренировок увеличение  $VO_2 \max$  у участников было связано с более эффективным использованием мозговых ресурсов (пониженной активацией в лобных и височных областях) и более высокими когнитивными способностями по сравнению с контрольной группой (растяжка и релаксация). В работе (Pereira et al., 2007) было показано, что после трех месяцев кардиореспираторных тренировок у взрослых людей (возрастной диапазон 21 — 45 лет) объем церебрального кровотока (ОЦК) в зубчатой извилине гиппокампа увеличился в сочетании с улучшением  $VO_2 \max$ , что свидетельствует о лучшей васкуляризации этой ткани. Увеличение ОЦК соответствовало лучшим показателям декларативной памяти участников. У животных тренировка сердечно-сосудистой системы также вызывала повышение ОЦК в зубчатой извилине и лучшую способность к обучению. В работе (Burdette et al., 2010) после четырех месяцев аэробных упражнений было выявлено значительное увеличение гиппокампального мозгового кровотока, что подтверждает результаты, полученные в (Pereira et al., 2007).

Кроме того, аэробная активность индуцирует высвобождение мозгового нейротрофического фактора (Lafenetre et al., 2011) и инсулиноподобного фактора роста-1 (ИФР-1) (van Praag, 2009). Эти соединения являются основными кандидатами на роль

нейрохимических веществ, опосредующих воздействие физических упражнений на здоровье мозга. В нескольких исследованиях, было показано, что уровень нейротрофического фактора роста нейронов был выше в группе, выполнявшей аэробные упражнения по сравнению с группой растяжки (Erickson et al., 2011) и группой практикующих осознанность или выполняющих когнитивную тренировку (Håkansson et al., 2017). В другом исследовании (Ruscheweyh et al., 2011) также сообщалось о более высоких уровнях BDNF, а также об увеличении объема серого вещества в префронтальных областях для группы выполнявшей кардиореспираторные упражнения.

Понимание того, как физические упражнения влияют на выработку BDNF, важно, потому что это соединение считается критическим фактором положительного влияния физических упражнений на обучение и память. Например, в работе (Hölscher, 1999) показано, что BDNF связан с вызванным аэробными упражнениями увеличением долговременной потенциации, которая способствует синаптической пластичности и считается клеточной моделью обучения и памяти. В работе (Gomez-Pinilla et al., 2008) авторы показали, что блокирование рецепторов BDNF во время упражнений устраняет последующие эффекты на метаболические факторы и когнитивные функции.

Так же стоит отметить, что упражнения разной интенсивности могут по-разному влиять на уровень нейротрофического фактора роста. В работе (Hötting et al., 2016) сообщается, что периферический уровень BDNF значительно увеличивался после упражнений высокой интенсивности, а в случае упражнений низкой интенсивности увеличения уровня не происходило. Более того в работе (Brown et al., 2012) показывается, что для пожилых людей упражнения высокой интенсивности могут принести больше пользы когнитивным функциям, чем упражнения низкой интенсивности.

Другим известным нейротрофическим фактором, является ИФР-1, который вырабатывается как в центральной нервной системе, так и на периферии в ответ на аэробные (Trejo et al., 2001) и силовые (Cassilhas et al., 2007) упражнения. Исследования показали, что блокирование проникновения периферического ИФР-1 в мозг во время аэробных тренировок блокирует индуцированный физической нагрузкой нейрогенез гиппокампа (Trejo et al., 2001) и ангиогенез (Lopez-Lopez et al., 2006). Кроме того, ряд исследований подтвердили зависимость между уровнем ИФР-1 и увеличением уровня BDNF, вызванного физической нагрузкой (Carro et al., 2001).

Кроме перечисленного выше, аэробные упражнения вызывают кратковременное повышение проницаемости ГЭБ (Bailey et al. 2011), что в сочетании с увеличением мозгового кровообращения (Pereira et al. 2007) и церебральной оксигенации (Duruu et al. 2015) будет способствовать более эффективной доставке кровотоком нейротрофинов и факторов, поддерживающих пластичность мозга во время или после упражнений.

В дополнение к функциональным изменениям мозга исследования также подтверждают значительные изменения в региональном объеме мозга после аэробных тренировок. Так, после шести месяцев аэробных тренировок три раза в неделю было обнаружено увеличение серого вещества в латеральной префронтальной, передней поясной и латеральной височной коре, а также увеличение объема белого вещества в лобных отделах мозга (Colcombe et al., 2006). Таким образом, по предположению авторов (Colcombe et al., 2006) улучшение состояния сердечно-сосудистой системы может замедлить возрастную потерю объема мозга. Кроме того, большое количество исследований показало увеличение объема серого вещества области гиппокампа (Colcombe et al., 2006; Erickson et al., 2011) в ответ на аэробные тренировки. В работе (Erickson et al., 2011) было обнаружено, что передняя часть гиппокампа пожилых людей, которые выполняли сердечно-сосудистые упражнения в течение года, увеличилась на 2% (в группе растяжки увеличение объема на 1,4 %), что положительно сказалось на когнитивных функциях. В работе (Pereira et al. 2007),

авторы представили доказательства того, что усиление кровотока в зубчатой извилине гиппокампа крысы соответствовало увеличению нейрогенеза в этой области. Это позволяет предположить, что улучшение памяти в ответ на сердечно — сосудистые упражнения может быть связано не только с лучшей васкуляризацией, но и с нейрогенезом в зубчатой извилине гиппокампа, что было продемонстрировано как для людей, так и для животных (Pereira et al., 2007).

Объем гиппокампа, по-видимому, чувствителен к продолжительности сердечно-сосудистой деятельности (Erickson et al., 2011). В выборке пожилых людей было продемонстрировано почти линейное увеличение объема после 6 и 12 месяцев сердечно-сосудистых тренировок (Erickson et al., 2011). Кроме того, для группы, выполнявшей аэробные упражнения была продемонстрирована более сильная функциональная связь гиппокампа с передней поясной корой (Burdette et al., 2010), что так же может оказывать положительное влияние на функцию памяти.

В двух сравнительных исследованиях молодых и пожилых взрослых (Voss et al., 2010a,b) была проанализирована связь между аэробной выносливостью, функциональной связностью в сети «режима по умолчанию» и когнитивными способностями. Эта сеть включает набор областей мозга, которые демонстрируют активность в состоянии покоя и снижают свою активность во время активного выполнения задачи. Сеть «режима по умолчанию» включает в себя участки лобных, теменных, медиально-височных и зрительных областей (Raichle et al., 2001). В поперечном исследовании (Voss et al., 2010a) было показано, что более высокие уровни сердечно-сосудистой подготовленности были связаны с более высокой функциональной связанностью сети «режима по умолчанию» у пожилых людей. Улучшение функциональной связанности способствовало улучшению когнитивных функций (в задачах пространственной памяти и исполнительного контроля). Эти данные подтверждаются в интервенционном исследовании (Voss et al., 2010b). Авторы (Voss et al., 2010b) показали, что сердечно-сосудистые тренировки улучшают функциональную эффективность стареющего мозга в состоянии покоя в лобных, затылочных и височных областях наряду с улучшением функции исполнительного контроля после 12 месяцев тренировок. Таким образом, аэробные тренировки приносят пользу не только связанной с заданием величине активации мозга, но и когерентности мозговых сетей в состоянии покоя, что также является важным критерием когнитивного функционирования. Пожилые люди, ведущие активный образ жизни, показали лучшие результаты в отношении рабочей и пространственной памяти, способности к торможению и способности переключаться между задачами (Voss et al., 2010a).

Связь между аэробной физической активностью и когнитивными способностями изучалась в основном для детей и пожилых людей. Возможно, это связано с тем, что другие возрастные периоды характеризуются относительной стабильностью и пиковым развитием когнитивных способностей и как правило, сложно обнаружить однозначную связь между аэробной выносливостью и когнитивными способностями в этом возрасте (Aberg et al., 2009). Так, например, в исследовании (Themanson and Hillman, 2006) была показана более высокая эффективность работы мозга для молодых взрослых с более хорошей физической подготовкой, однако несмотря на эти различия в активации мозга, различий в поведенческих характеристиках получено не было. Можно предположить, что у молодых высокофункциональных взрослых меньше возможностей для улучшения («эффект потолка»), чем у пожилых людей, уже страдающих возрастным снижением когнитивных функций. Хотя, стоит отметить, что некоторые исследования все же подтверждают эффективность аэробных тренировок для улучшения когнитивных функций в молодом возрасте (Stroth et al., 2009; Pereira et al., 2007), особенно у лиц с генетической предрасположенностью к нарушению когнитивных функций из-за более низкого уровня

дофамина в мозге (Stroth et. al. 2010) . Например, в работе (Stroth et al. 2009) показано, что после шести недель участия в программе аэробных упражнений наблюдалось улучшение зрительно-пространственной памяти у взрослых моложе 30 лет, хотя значительного изменения в вербальной памяти и внимании показано не было. В работе (Pereira et al., 2007) авторы показали избирательное увеличение мозгового кровотока в зубчатой извилине у молодых людей после 12 недель аэробных упражнений, что коррелировало с улучшением кратковременной памяти. Последнее исследование, однако, не включало контрольную группу. Таким образом, хотя данные не столь однозначны, но проведенные исследования, по-видимому, все же подтверждают положительную связь между большей аэробной выносливостью и функцией мозга в молодом взрослом возрасте. К тому же не стоит забывать, что есть данные подтверждающие, что физическая активность в молодом возрасте может обеспечить сохранность здоровья и когнитивных функций в более позднем возрасте (Middleton et. al., 2010).

Интересно, что физическая активность индуцирует модификации, которые могут передаваться потомству (Robinson et al., 2012). Положительный материнский опыт может влиять на потомство как на поведенческом, так и на биохимическом уровне (Cutuli et al., 2018). В работе (Aksu et al., 2012) было замечено, что беременные крысы, имеющие возможность бегать на колесе, производят потомство с улучшенной пространственной памятью и повышенным уровнем BDNF в гиппокампе. Однако необходимы дальнейшие исследования, поскольку остается неясным, являются ли эти положительные эффекты результатом физиологических изменений внутриутробной среды и/или эпигенетических модификаций развивающегося эмбриона (Short et al., 2017). В случае с людьми изменения, вызванные физическими упражнениями, также могут передаваться по наследству (Denham, 2018). Многие эпидемиологические исследования, в основном проведенные в последние два десятилетия, выявили связь между ФА, здоровьем мозга человека и эпигенетическими модификациями генома, что даже привело к концепции «эпигенетического возраста» или «ДНК-возраста» (Hunter et. al., 2019).

Также как кардио, тренировки с отягощениями (силовые тренировки) влияют на метаболические и энергетические процессы (Bogdanis, 2012). Кроме того, появляется все больше доказательств того, что соответствующий уровень мышечной силы связан со здоровьем и функционированием мозга (в том числе с когнитивными функциями). Например, в работе (Nakamoto et. al., 2012) сообщается, что более высокие уровни изокинетической силы четырехглавой мышцы бедра связаны с лучшими показателями общих когнитивных способностей (измеряемых с помощью мини-теста психического состояния (MMSE)) и с лучшими показателями исполнительных функций (Frith and Loprinzi, 2018). Кроме того, в некоторых работах показано, что более высокая сила ног (Steves et. al., 2016) и всего тела (Pentikäinen et. al., 2017), а также сила хвата (Sternäng et. al., 2016) связаны с более высокими баллами в стандартизированных батареях когнитивных тестов. В работе (Liu-Ambrose et. al., 2010) авторы продемонстрировали, что 12-месячная прогрессивная тренировка с отягощениями один или два раза в неделю улучшила избирательное внимание и способность разрешать конфликты для пожилых женщин (возрастной диапазон 65 - 75 лет). Повышенное избирательное внимание и разрешение конфликтов также были связаны с увеличением скорости ходьбы (предсказывает существенное снижение как заболеваемости (Rosano et. al., 2010), так и смертности (Hardy et. al., 2007)). Эти результаты иллюстрируют клиническую значимость когнитивных улучшений, вызванных тренировками с отягощениями. В работе (Davis et. al., 2010) исследователи представили доказательства того, что когнитивные преимущества, связанные с силовыми тренировками, сохраняются в течение 1 года после их окончания.

В работе (Perrig - Chiello et. al., 1998) 46 пожилых добровольцев прошли 8-недельную

программу силовых упражнений, что привело к улучшению психологического благополучия и когнитивных функций. Исследование (Cassilhas et. al., 2007) также подтвердило предыдущие данные об улучшении кратковременной и долговременной памяти, исполнительных функций и внимания у пожилых людей, прошедших силовые тренировки. При этом положительный эффект не зависел от того, выполнялись ли упражнения с отягощениями с умеренным или высоким уровнем интенсивности. Однако, стоит отметить, что умеренная интенсивность в дополнение к когнитивным преимуществам обеспечивает более значительное улучшение профиля настроения и определенных аспектов качества жизни. В другом исследовании (Ozkaaya et al., 2005) 36 добровольцев в возрасте 60–85 лет занимались физическими упражнениями в течение 9 недель. Участники, выполнявшие как силовые, так и аэробные упражнения улучшили свои когнитивные функции по сравнению с контролем без статистически значимых различий между группами, т.е. оба типа упражнений положительно повлияли на когнитивные функции.

Работа (Cassilhas et. al., 2007) дает ценную информацию о возможных механизмах, лежащих в основе положительного влияния тренировок с отягощениями на когнитивные способности. Авторы (Cassilhas et. al., 2007) обнаружили, что уровни сывороточного инсулиноподобного фактора роста-1 были выше в группах силовых тренировок по сравнению с контрольной группой. Как было отмечено выше ИФР-1 является важным соединением для здоровья мозга, способствует росту, выживанию и дифференцировке нейронов, а также улучшает когнитивные функции (Cotman et. al. 2007).

Другой механизм, с помощью которого тренировки с отягощениями могут улучшить здоровье мозга связан с модуляцией функциональной связи. Так, например, было замечено, что функциональная связь в состоянии покоя между задней поясной корой и другими областями мозга обычно снижена у лиц с легкими когнитивными расстройствами (ЛКН) (Bai et. al., 2009). Кроме того, функциональная связь между гиппокампом и другими областями мозга в состоянии покоя нарушается у лиц с ЛКН (Wang et. al., 2011) или болезнью Альцгеймера (Allen et. al., 2007). Силовые тренировки продолжительностью 26 недель увеличивают функциональную связь между задней поясной корой, левой нижней височной долей и передней поясной корой, а также между гиппокампом и правой средней лобной долей (Suo et. al., 2016).

В обзоре (Kilgour et. al., 2014) сообщается, что как мышечная сила, так и размер мышц связаны со структурой мозга. Было показано, что выполнение силовых тренировок может способствовать снижению атрофии (Best et. al., 2015) и степени поражения (Bolanzadeh et. al., 2015) белого вещества коры головного мозга у пожилых людей (по сравнению с контрольной группой - упражнения на баланс и тонус). Кроме того, у пожилых людей силовые тренировки снижают уровень гомоцистеина в сыворотке (Vincent et. al., 2003). Повышенные уровни гомоцистеина связаны с нарушением когнитивных функций (Schafer et. al., 2005), болезнью Альцгеймера (Seshadri et. al., 2002) и поражением белого вещества головного мозга (Vermeer et. al., 2002).

Таким образом, несмотря на то что литературы о влиянии тренировок с отягощениями на мозг и когнитивные функции меньше, чем о влиянии аэробных тренировок, предварительные данные подчеркивают их важность для поддержания здоровья и будущих исследований. Кроме того, этот тип тренировок в некоторой степени может влиять на улучшение мышечной координации (Young, 2006) и провоцировать изменения в первичной моторной коре (Carroll et al., 2001), по крайней мере на начальном этапе тренировки при освоении нового движения (Nakkinen and Komi, 1983).

### **Координационные упражнения (двигательная подготовленность)**

Двигательная подготовленность включает в себя упражнения для мелкой и крупной



моторики тела, такие как баланс, координация глаза-рука, нога-рука, а также пространственной ориентации и реакции на движущиеся объекты (Voelcker-Rehage et al., 2011). Двигательная тренировка вызывает меньше изменений в энергетическом обмене, чем метаболические упражнения (сердечно-сосудистые и силовые), но при этом требует перцептивных и когнитивных процессов более высокого уровня (таких как внимание), которые необходимы для преобразования ощущений в действие и обеспечения упреждающих и адаптивных аспектов пострурального контроля или координации движений.

Итак, хотя большинство исследований связи физической активности и здоровья мозга сосредоточено на аэробной/кардиореспираторной активности, двигательная подготовленность также играет важную роль и может способствовать улучшению когнитивных функций (Voelcker-Rehage et al., 2010; Voelcker-Rehage et al., 2011). По данным, полученным в работе (Voelcker-Rehage et al., 2010), хорошая двигательная подготовленность показала значительную корреляцию с исполнительным контролем и скоростью восприятия. Кроме того, интервенционные исследования показали, что 6-недельная бимануальная программа упражнений на координацию улучшила навыки понимания прочитанного у учащихся 5-х классов по сравнению с контрольной группой (Uhrich and Swalm, 2007), а 10-минутные активные координационные упражнения улучшили когнитивные способности у подростков (Budde et al., 2008).

Также, в работе (Voelcker-Rehage, 2010) было показано, что более высокий уровень двигательной подготовленности, обеспечивает лучшее функционирование сетей, связанных с исполнительным контролем и зрительно-пространственной обработкой, что, в свою очередь, связано с улучшением поведенческих показателей. После 6 и 12 месяцев координационных тренировок наблюдалось снижение активации в префронтальных областях в сочетании с улучшением показателей в задаче Фланкера (Voelcker-Rehage et al., 2011) (те же результаты были получены и в результате кардиореспираторных упражнений). Повышенную лобную активацию часто интерпретируют как компенсаторный механизм, необходимый для преодоления возрастных изменений. Таким образом, улучшение обоих аспектов физической подготовки (физическая и двигательная), сопровождается меньшей компенсаторной активацией, а значит более эффективной работой мозга (Reuter-Lorenz and Cappell, 2008). Процессы, которые могут лежать в основе сниженной активации, включают в себя изменения морфологии нейронов (образование новых синапсов), глиогенез и рост дендритов, астроцитов и шипов. Например, крысы, которые участвовали в задачах обучения двигательным навыкам (сопоставимы с тренировками координации у людей), показали большее количество мозжечковых синапсов на нейрон (Black et al., 1990). Кроме того, во время обучения двигательным навыкам у крыс было отмечено увеличение объема клеток глии, связанное с увеличением образования синапсов в мозжечке (Anderson et al., 1994) и моторной коре (Kleim et al., 1996). Увеличение плотности астроцитов (Kleim et al., 2007) и дендритов (Kleim et al., 1997) было связано с обучением моторике, но не с сердечно-сосудистой активностью. У человека с помощью методов нейровизуализации и транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) было показано, что тренировка двигательных навыков вызывает изменения в организации двигательных представлений в первичной моторной коре в виде расширения и повышенной возбудимости корковых представлений определенных мышц, задействованных для выполнения задания (Pascual-Leone et al., 1995; Karni et al., 1995). Можно предположить, что повторяющаяся функциональная активация областей мозга во время выполнения нового движения (как это требуется при обучении координации) вызывает функциональные изменения в этих областях (Taubert et al., 2011).

Несколько исследований связали более высокую двигательную подготовленность (после моторного обучения) с увеличением функциональной связанности в двигательных

областях (Ma et al., 2010). Так же было продемонстрировано, что на связность сети «режима по умолчанию» (теменных областей) положительно влияют 4 недели обучения задаче на последовательное движение пальцев (Ma et al., 2011) или 6 недель обучения задаче баланса всего тела (Taubert et al., 2011). Даже после 11-минутного зрительно-моторного сеанса были обнаружены изменения в лобно-теменных областях сети «режима по умолчанию» (Albert et al., 2009).

Кроме того, было установлено, что выполнение упражнений для улучшения двигательной подготовленности опосредует так же и структурные изменения некоторых областей мозга. Так авторы работы (Taubert et al., 2010) использовали сложную задачу балансировки всего тела и выявили увеличение объема серого вещества в лобных и теменных областях в течение первых 2 недель 6-недельного тренировочного периода и дальнейшее увеличение объема в лобных областях в течение следующих 4 недель. Сорок часов занятий гольфом у новичков ассоциировались с увеличением объема центральной борозды, а также премоторной коры и теменных областей (Bezzola et al., 2011). Исследования тренировок по жонглированию в основном выявили увеличение серого вещества в лобных (Boyke et al., 2008; Driemeyer et al., 2008), височных (Driemeyer et al., 2008), включая гиппокамп (Boyke et al., 2008), теменных (Driemeyer et al., 2008; Scholz et al., 2009), затылочных долях (Scholz et al., 2009) и прилежащем ядре (Boyke et al., 2008). Эффекты были одинаковыми у пожилых и молодых людей (Boyke et al., 2008).

Исследования моторного обучения показывают ступенчатую (нелинейную) зависимость между анатомическими изменениями и количеством практики. Быстрые изменения структуры мозга, по-видимому, происходят на очень ранних этапах обучения в двигательных и теменных областях (в течение 7 дней, Driemeyer et al., 2008; в течение 2 недель, Taubert et al., 2010). Лобные области демонстрируют постоянное увеличение в течение 6 недель тренировок сложной задачи балансировки всего тела (Taubert et al., 2010) или 5 недель жонглирования (Driemeyer et al., 2008). После прекращения двигательного обучения изменения сохраняются, по крайней мере, в течение 4 недель (Scholz et al., 2009). Однако через 8 или 16 недель структурные изменения мозга могут вернуться к исходному уровню (Driemeyer et al., 2008). Таким образом, временной ход изменений мозга, вызванных двигательным обучением/тренировкой координации, может отличаться от динамики сердечно-сосудистых упражнений.

### **Упражнения на растяжку мышц**

Упражнения на растяжку (как и тонизирующие или расслабляющие упражнения) часто используются в качестве контроля в исследованиях влияния других типов упражнений на здоровье мозга и, как утверждается в некоторых исследованиях, не влияют на структуру или функционирование мозга (Erickson et al., 2011; Ruscheweyh et al., 2011; Voelcker-Rehage et al., 2011). Причинами этого могут быть минимальные метаболические (Erickson et al., 2011; Ruscheweyh et al., 2011) и координационные (Voelcker-Rehage et al., 2011) потребности при выполнении подобного типа упражнений. Таким образом, вызванные аэробными упражнениями изменения энергетического метаболизма (такие как увеличение  $VO_2 \max$ ), а также изменения в обработке информации, возникающие в следствии когнитивной нагрузки во время тренировки координации (а также двигательного обучения), могут иметь решающее значение для индукции структурных и функциональных изменений мозга и, следовательно, опосредуют влияние физической активности на когнитивные функции (Pereira et al., 2007; Voelcker-Rehage et al., 2011). Однако тут стоит отметить, что упражнения на растяжку и релаксацию могут оказывать сильное влияние на снижение уровня стресса (Khasky and Smith, 1999), что само по себе может оказывать благотворное влияние на здоровье мозга и как следствие когнитивное функционирование. Кроме того, в работе (Voss et al., 2010b) была

показана повышенная функциональная связь в лобной и теменной областях у пожилых людей после 6 месяцев растяжки. Эти результаты свидетельствуют о том, что для людей, ведущих малоподвижный образ жизни, даже вмешательство по растяжке может содержать координационные и метаболические требования.

### **Заключение**

В заключении можно сказать, что как метаболические, так и двигательные упражнения оказывают положительное влияние на когнитивные функции и могут помочь в поддержании наиболее уязвимых в плане когнитивного старения параметров, таких как память, исполнительный контроль, скорость восприятия. Однако механизмы влияния, динамика развития изменений, а также затрагиваемые области могут существенно различаться. Поэтому, в общем случае наиболее эффективной стратегией будет сочетание метаболических и двигательных упражнений. Кроме того, в настоящее время все более распространенным для выполнения упражнений становится использование виртуальной реальности. Такой тип упражнений может способствовать поддержанию интереса к занятиям (особенно для людей, которые не любят двигаться), а также дополняться элементами когнитивной тренировки, что принесет дополнительную пользу для поддержания здоровья мозга.

Помимо прочего, приведенная информация показывает, что использовать физические упражнения для поддержания когнитивного здоровья возможно и для людей, которым противопоказано выполнение сердечно-сосудистой деятельности даже умеренной интенсивности. Это особенно важно для пожилых людей, которые ведут малоподвижный образ жизни из-за страха получить травму во время физической активности, либо из-за проблем с сердечно — сосудистой системой. В таком случае, чтобы избежать сидячего образа жизни и связанного с ним ухудшения здоровья, хорошей альтернативой будет выполнение моторных и балансовых упражнений, которые менее требовательны к сердечно-сосудистой системе и являются менее травматичными.

Помимо перечисленного, физическая активность может способствовать снижению уровня стресса и тревожности, повышению настроения и уверенности в своих силах, что благотворно сказывается на здоровье и помогает вести насыщенную полноценную жизнь до глубокой старости.

### **Библиографический список**

Третьякова ВД. Возрастные изменения в мозге и факторы, влияющие на них. Бюллетень науки и практики. 2022. 8(7):151-91. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/80/20>

Aberg MA, Pedersen NL, Torén K, Svartengren M, Bäckstrand B, Johnsson T, Cooper-Kuhn CM, Aberg ND, Nilsson M, Kuhn HG. Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009 Dec 8;106(49):20906-11. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905307106>

Aksu I, Baykara B, Ozbal S, Cetin F, Sisman AR, Dayi A, Gencoglu C, Tas A, Büyük E, Gonenc-Arda S, Uysal N. Maternal treadmill exercise during pregnancy decreases anxiety and increases prefrontal cortex VEGF and BDNF levels of rat pups in early and late periods of life. *Neurosci Lett*. 2012 May 16;516(2):221-5. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.03.091>

Albert NB, Robertson EM, Miall RC. The resting human brain and motor learning. *Curr Biol*. 2009 Jun 23;19(12):1023-7. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.04.028>

Allen G, Barnard H, McColl R, Hester AL, Fields JA, Weiner MF, Ringe WK, Lipton AM, Brooker M, McDonald E, Rubin CD, Cullum CM. Reduced hippocampal functional connectivity in Alzheimer disease. *Arch Neurol.* 2007 Oct;64(10):1482-7. <https://doi.org/10.1001/archneur.64.10.1482>

Anderson BJ, Li X, Alcantara AA, Isaacs KR, Black JE, Greenough WT. Glial hypertrophy is associated with synaptogenesis following motor-skill learning, but not with angiogenesis following exercise. *Glia.* 1994 May;11(1):73-80. <https://doi.org/10.1002/glia.440110110>

Bailey DM, Evans KA, McEneny J, Young IS, Hullin DA, James PE, Ogoh S, Ainslie PN, Lucchesi C, Rockenbauer A, Culcasi M, Pietri S. Exercise-induced oxidative-nitrosative stress is associated with impaired dynamic cerebral autoregulation and blood-brain barrier leakage. *Exp Physiol.* 2011 Nov;96(11):1196-207. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.060178>

Bai F, Watson DR, Yu H, Shi Y, Yuan Y, Zhang Z. Abnormal resting-state functional connectivity of posterior cingulate cortex in amnesic type mild cognitive impairment. *Brain Res.* 2009 Dec 11;1302:167-74. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.09.028>

Best JR, Chiu BK, Liang Hsu C, Nagamatsu LS, Liu-Ambrose T. Long-Term Effects of Resistance Exercise Training on Cognition and Brain Volume in Older Women: Results from a Randomized Controlled Trial. *J Int Neuropsychol Soc.* 2015 Nov;21(10):745-56. <https://doi.org/10.1017/S1355617715000673>

Bolanzadeh N, Tam R, Handy TC, Nagamatsu LS, Hsu CL, Davis JC, Dao E, Beattie BL, Liu-Ambrose T. Resistance Training and White Matter Lesion Progression in Older Women: Exploratory Analysis of a 12-Month Randomized Controlled Trial. *J Am Geriatr Soc.* 2015 Oct;63(10):2052-60. <https://doi.org/10.1111/jgs.13644>

Bezzola L, Mérillat S, Gaser C, Jäncke L. Training-induced neural plasticity in golf novices. *J Neurosci.* 2011 Aug 31;31(35):12444-8. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1996-11.2011>

Bogdanis GC. Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. *Front Physiol.* 2012 May 18;3:142. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00142>

Black JE, Isaacs KR, Anderson BJ, Alcantara AA, Greenough WT. Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis, in cerebellar cortex of adult rats. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1990 Jul;87(14):5568-72. <https://doi.org/10.1073/pnas.87.14.5568>

Blazer DG, Yaffe K, Karlawish J. Cognitive aging: a report from the Institute of Medicine. *JAMA.* 2015 Jun 2;313(21):2121-2. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.4380>

Boyke J, Driemeyer J, Gaser C, Büchel C, May A. Training-induced brain structure changes in the elderly. *J Neurosci.* 2008 Jul 9;28(28):7031-5. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0742-08.2008>

Brown BM, Peiffer JJ, Sohrabi HR, Mondal A, Gupta VB, Rainey-Smith SR, Taddei K, Burnham S, Ellis KA, Szoek C, Masters CL, Ames D, Rowe CC, Martins RN; AIBL research group. Intense physical activity is associated with cognitive performance in the elderly. *Transl Psychiatry.* 2012 Nov 20;2(11):e191. <https://doi.org/10.1038/tp.2012.118>

Budde H, Voelcker-Rehage C, Pietrabyk-Kendziorra S, Ribeiro P, Tidow G. Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neurosci Lett*. 2008 Aug 22;441(2):219-23. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.06.024>

Burdette JH, Laurienti PJ, Espeland MA, Morgan A, Telesford Q, Vechlekar CD, Hayasaka S, Jennings JM, Katula JA, Kraft RA, Rejeski WJ. Using network science to evaluate exercise-associated brain changes in older adults. *Front Aging Neurosci*. 2010 Jun 7;2:23. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2010.00023>

Carro E, Trejo JL, Busiguina S, Torres-Aleman I. Circulating insulin-like growth factor I mediates the protective effects of physical exercise against brain insults of different etiology and anatomy. *J Neurosci*. 2001 Aug 1;21(15):5678-84. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-15-05678.2001>

Carroll TJ, Riek S, Carson RG. Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. *Sports Med*. 2001;31(12):829-40. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131120-00001>

Cassilhas RC, Viana VA, Grassmann V, Santos RT, Santos RF, Tufik S, Mello MT. The impact of resistance exercise on the cognitive function of the elderly. *Med Sci Sports Exerc*. 2007 Aug;39(8):1401-7. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318060111f>

Cotman CW, Berchtold NC, Christie LA. Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends Neurosci*. 2007 Sep;30(9):464-72. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.06.011>

Chan JSY, Wong ACN, Liu Y, Yu J, Yan JH. Fencing expertise and physical fitness enhance action inhibition. *Psychol Sport Exerc*. 2011. 12(5):509–14. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2011.04.006>

Colcombe SJ, Kramer AF, Erickson KI, Scalf P, McAuley E, Cohen NJ, Webb A, Jerome GJ, Marquez DX, Elavsky S. Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2004 Mar 2;101(9):3316-21. <https://doi.org/10.1073/pnas.0400266101>

Colcombe SJ, Erickson KI, Scalf PE, Kim JS, Prakash R, McAuley E, Elavsky S, Marquez DX, Hu L, Kramer AF. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2006 Nov;61(11):1166-70. <https://doi.org/10.1093/gerona/61.11.1166>

Cooney GM, Dwan K, Greig CA, Lawlor DA, Rimer J, Waugh FR, McMurdo M, Mead GE. Exercise for depression. *Cochrane Database Syst Rev*. 2013 Sep 12;(9):CD004366. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004366.pub6>

Cutuli D, Berretta E, Caporali P, Sampedro-Piquero P, De Bartolo P, Laricchiuta D, Gelfo F, Pesoli M, Foti F, Farioli Vecchioli S, Petrosini L. Effects of pre-reproductive maternal enrichment on maternal care, offspring's play behavior and oxytocinergic neurons. *Neuropharmacology*. 2019 Feb;145(Pt A):99-113. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2018.02.015>

Davis JC, Marra CA, Beattie BL, Robertson MC, Najafzadeh M, Graf P, Nagamatsu LS, Liu-Ambrose T. Sustained cognitive and economic benefits of resistance training among community-

dwelling senior women: a 1-year follow-up study of the Brain Power study. *Arch Intern Med.* 2010 Dec 13;170(22):2036-8. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2010.462>

Da Silva Santos R, Galdino G. Endogenous systems involved in exercise-induced analgesia. *J Physiol Pharmacol.* 2018 Feb;69(1):3-13. <https://doi.org/10.26402/jpp.2018.1.01>

Delezie J, Handschin C. Endocrine Crosstalk Between Skeletal Muscle and the Brain. *Front Neurol.* 2018 Aug 24;9:698. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00698>

Denham J. Exercise and epigenetic inheritance of disease risk. *Acta Physiol (Oxf).* 2018 Jan;222(1). <https://doi.org/10.1111/apha.12881>

Dong C, Nabizadeh N, Caunca M, Cheung YK, Rundek T, Elkind MS, DeCarli C, Sacco RL, Stern Y, Wright CB. Cognitive correlates of white matter lesion load and brain atrophy: the Northern Manhattan Study. *Neurology.* 2015 Aug 4;85(5):441-9. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000001716>

Driemeyer J, Boyke J, Gaser C, Büchel C, May A. Changes in gray matter induced by learning--revisited. *PLoS One.* 2008 Jul 23;3(7):e2669. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002669>

Dupuy O, Gauthier CJ, Fraser SA, Desjardins-Crèpeau L, Desjardins M, Mekary S, Lesage F, Hoge RD, Pouliot P, Bherer L. Higher levels of cardiovascular fitness are associated with better executive function and prefrontal oxygenation in younger and older women. *Front Hum Neurosci.* 2015 Feb 18;9:66. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00066>

Elosua R, Bartali B, Ordovas JM, Corsi AM, Lauretani F, Ferrucci L; InCHIANTI Investigators. Association between physical activity, physical performance, and inflammatory biomarkers in an elderly population: the InCHIANTI study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2005 Jun;60(6):760-7. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.6.760>

Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L, Kim JS, Heo S, Alves H, White SM, Wojcicki TR, Mailey E, Vieira VJ, Martin SA, Pence BD, Woods JA, McAuley E, Kramer AF. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2011 Feb 15;108(7):3017-22. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015950108>

Erickson KI, Gildengers AG, Butters MA. Physical activity and brain plasticity in late adulthood. *Dialogues Clin Neurosci.* 2013 Mar;15(1):99-108. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2013.15.1/kerickson>

Fjell AM, Walhovd KB. Structural brain changes in aging: courses, causes and cognitive consequences. *Rev Neurosci.* 2010;21(3):187-221. <https://doi.org/10.1515/revneuro.2010.21.3.187>

Frith E, Loprinzi PD. The association between lower extremity muscular strength and cognitive function in a national sample of older adults. *J Lifestyle Med.* 2018. 8:99–104. <https://doi.org/10.15280/jlm.2018.8.2.99>

Gliner JA, Matsen-Twisdale JA, Horvath SM, Maron MB. Visual evoked potentials and signal detection following a marathon race. *Medicine and Science in Sports.* 1979 ;11(2):155-159

Gomez-Pinilla F, Vaynman S, Ying Z. Brain-derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition. *Eur J Neurosci*. 2008 Dec;28(11):2278-87. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06524.x>

Håkansson K, Ledreux A, Daffner K, Terjestam Y, Bergman P, Carlsson R, Kivipelto M, Winblad B, Granholm AC, Mohammed AK. BDNF Responses in Healthy Older Persons to 35 Minutes of Physical Exercise, Cognitive Training, and Mindfulness: Associations with Working Memory Function. *J Alzheimers Dis*. 2017;55(2):645-657. <https://doi.org/10.3233/JAD-160593>

Häkkinen K, Komi PV. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc*. 1983;15(6):455-60

Hardy SE, Perera S, Roumani YF, Chandler JM, Studenski SA. Improvement in usual gait speed predicts better survival in older adults. *J Am Geriatr Soc*. 2007 Nov;55(11):1727-34. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2007.01413.x>

Hunter DJ, James L, Hussey B, Wadley AJ, Lindley MR, Mastana SS. Impact of aerobic exercise and fatty acid supplementation on global and gene-specific DNA methylation. *Epigenetics*. 2019 Mar;14(3):294-309. <https://doi.org/10.1080/15592294.2019.1582276>

Heyn P, Abreu BC, Ottenbacher KJ. The effects of exercise training on elderly persons with cognitive impairment and dementia: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004 Oct;85(10):1694-704. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.03.019>

Hillman CH, Motl RW, Pontifex MB, Posthuma D, Stubbe JH, Boomsma DI, de Geus EJC. Physical activity and cognitive function in a cross-section of younger and older community-dwelling individuals. *Health Psychol*. 2006 Nov;25(6):678-687. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.25.6.678>

Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nat Rev Neurosci*. 2008 Jan;9(1):58-65. <https://doi.org/10.1038/nrn2298>

Hölscher C. Synaptic plasticity and learning and memory: LTP and beyond. *J Neurosci Res*. 1999 Oct 1;58(1):62-75

Hötting K, Schickert N, Kaiser J, Röder B, Schmidt-Kassow M. The Effects of Acute Physical Exercise on Memory, Peripheral BDNF, and Cortisol in Young Adults. *Neural Plast*. 2016;2016:6860573. <https://doi.org/10.1155/2016/6860573>

Hsieh H, Boehm J, Sato C, Iwatsubo T, Tomita T, Sisodia S, Malinow R. AMPAR removal underlies Abeta-induced synaptic depression and dendritic spine loss. *Neuron*. 2006 Dec 7;52(5):831-43. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.10.035>

Karni A, Meyer G, Jezard P, Adams MM, Turner R, Ungerleider LG. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*. 1995 Sep 14;377(6545):155-8. <https://doi.org/10.1038/377155a0>

Kilgour AH, Todd OM, Starr JM. A systematic review of the evidence that brain structure is related to muscle structure and their relationship to brain and muscle function in humans over the

lifecourse. BMC Geriatr. 2014 Jul 10;14:85. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-14-85>

Khasky, A. D., & Smith, J. C. Stress, Relaxation States, and Creativity. *Perceptual and Motor Skills*. 1999. 88(2):409–416. <https://doi.org/10.2466/pms.1999.88.2.409>

Kleim JA, Lussnig E, Schwarz ER, Comery TA, Greenough WT. Synaptogenesis and Fos expression in the motor cortex of the adult rat after motor skill learning. *J Neurosci*. 1996 Jul 15;16(14):4529-35. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.16-14-04529.1996>

Kleim JA, Swain RA, Czerlanis CM, Kelly JL, Pipitone MA, Greenough WT. Learning-dependent dendritic hypertrophy of cerebellar stellate cells: plasticity of local circuit neurons. *Neurobiol Learn Mem*. 1997 Jan;67(1):29-33. <https://doi.org/10.1006/nlme.1996.3742>

Kleim JA, Markham JA, Vij K, Freese JL, Ballard DH, Greenough WT. Motor learning induces astrocytic hypertrophy in the cerebellar cortex. *Behav Brain Res*. 2007 Mar 28;178(2):244-9. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2006.12.022>

Kramer AF, Hahn S, Cohen NJ, Banich MT, McAuley E, Harrison CR, Chason J, Vakil E, Bardell L, Boileau RA, Colcombe A. Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*. 1999 Jul 29;400(6743):418-9. <https://doi.org/10.1038/22682>

Krüger K, Mooren FC, Pilat C. The Immunomodulatory Effects of Physical Activity. *Curr Pharm Des*. 2016;22(24):3730-48. <https://doi.org/10.2174/1381612822666160322145107>

Lafenetre P, Leske O, Wahle P, Heumann R. The beneficial effects of physical activity on impaired adult neurogenesis and cognitive performance. *Front Neurosci*. 2011 Apr 12;5:51. <https://doi.org/10.3389/fnins.2011.00051>

Lopez-Lopez C, LeRoith D, Torres-Aleman I. Insulin-like growth factor I is required for vessel remodeling in the adult brain. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2004 Jun 29;101(26):9833-8. <https://doi.org/10.1073/pnas.040033710>

Lin MY, Gutierrez PR, Stone KL, Yaffe K, Ensrud KE, Fink HA, Sarkisian CA, Coleman AL, Mangione CM; Study of Osteoporotic Fractures Research Group. Vision impairment and combined vision and hearing impairment predict cognitive and functional decline in older women. *J Am Geriatr Soc*. 2004 Dec;52(12):1996-2002. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2004.52554.x>

Liu-Ambrose T, Nagamatsu LS, Graf P, Beattie BL, Ashe MC, Handy TC. Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial. *Arch Intern Med*. 2010 Jan 25;170(2):170-8. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.494>

Ma L, Wang B, Narayana S, Hazeltine E, Chen X, Robin DA, Fox PT, Xiong J. Changes in regional activity are accompanied with changes in inter-regional connectivity during 4 weeks motor learning. *Brain Res*. 2010 Mar 8;1318:64-76. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.12.073>

Ma L, Narayana S, Robin DA, Fox PT, Xiong J. Changes occur in resting state network of motor system during 4 weeks of motor skill learning. *Neuroimage*. 2011 Sep 1;58(1):226-33. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.06.014>

Mandolesi L, Gelfo F, Serra L, Montuori S, Polverino A, Curcio G, Sorrentino G. Environmental



Factors Promoting Neural Plasticity: Insights from Animal and Human Studies. *Neural Plast.* 2017;2017:7219461. <https://doi.org/10.1155/2017/7219461>

Mattson MP, Maudsley S, Martin B. BDNF and 5-HT: a dynamic duo in age-related neuronal plasticity and neurodegenerative disorders. *Trends Neurosci.* 2004 Oct;27(10):589-94. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2004.08.001>

Middleton LE, Barnes DE, Lui LY, Yaffe K. Physical activity over the life course and its association with cognitive performance and impairment in old age. *J Am Geriatr Soc.* 2010 Jul;58(7):1322-6. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.02903.x>

Nakamoto H, Yoshitake Y, Takai Y, Kanehisa H, Kitamura T, Kawanishi M, Mori S. Knee extensor strength is associated with Mini-Mental State Examination scores in elderly men. *Eur J Appl Physiol.* 2012 May;112(5):1945-53. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2176-9>

Ozkaya GY, Aydin H, Toraman FN, Kizilay F, Ozdemir O, Cetinkaya V. Effect of strength and endurance training on cognition in older people. *J Sports Sci Med.* 2005 Sep 1;4(3):300-13

Pascual-Leone A, Nguyet D, Cohen LG, Brasil-Neto JP, Cammarota A, Hallett M. Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol.* 1995 Sep;74(3):1037-45. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.74.3.1037>

Perrig-Chiello P, Perrig WJ, Ehram R, Staehelin HB, Krings F. The effects of resistance training on well-being and memory in elderly volunteers. *Age Ageing.* 1998 Jul;27(4):469-75. <https://doi.org/10.1093/ageing/27.4.469>

Pentikäinen H, Savonen K, Komulainen P, Kiviniemi V, Pajananen T, Kivipelto M, et al. Muscle strength and cognition in ageing men and women: the DR's EXTRA study. *Eur Geriatr Med.* 2017. 8:275–7. [doi.org/10.1016/j.eurger.2017.04.004](https://doi.org/10.1016/j.eurger.2017.04.004)

Pereira AC, Huddleston DE, Brickman AM, Sosunov AA, Hen R, McKhann GM, Sloan R, Gage FH, Brown TR, Small SA. An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2007 Mar 27;104(13):5638-43. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611721104>

Pesce C, Cereatti L, Forte R, Crova C, Casella R. Acute and chronic exercise effects on attentional control in older road cyclists. *Gerontology.* 2011;57(2):121-8. <https://doi.org/10.1159/000314685>

Petrosini L, De Bartolo P, Foti F, Gelfo F, Cutuli D, Leggio MG, Mandolesi L. On whether the environmental enrichment may provide cognitive and brain reserves. *Brain Res Rev.* 2009 Oct;61(2):221-39. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2009.07.002>

Raichle ME, MacLeod AM, Snyder AZ, Powers WJ, Gusnard DA, Shulman GL. A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 2001. 98(2): 676-682 [doi.org/10.1073/pnas.98.2.676](https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676)

Reuter-Lorenz PA, Cappell KA. Neurocognitive Aging and the Compensation Hypothesis. *Current Directions in Psychological Science.* 2008. 17(3):177–182. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00570.x>

Robinson AM, Eggleston RL, Bucci DJ. Physical exercise and catecholamine reuptake inhibitors affect orienting behavior and social interaction in a rat model of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Behav Neurosci*. 2012 Dec;126(6):762-71. <https://doi.org/10.1037/a0030488>

Rosano C, Venkatraman VK, Guralnik J, Newman AB, Glynn NW, Launer L, Taylor CA, Williamson J, Studenski S, Pahor M, Aizenstein H. Psychomotor speed and functional brain MRI 2 years after completing a physical activity treatment. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2010 Jun;65(6):639-47. <https://doi.org/10.1093/gerona/gdq03>

Ruscheweyh R, Willemer C, Krüger K, Duning T, Warnecke T, Sommer J, Völker K, Ho HV, Mooren F, Knecht S, Flöel A. Physical activity and memory functions: an interventional study. *Neurobiol Aging*. 2011 Jul;32(7):1304-19. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2009.08.001>

Scholz J, Klein MC, Behrens TE, Johansen-Berg H. Training induces changes in white-matter architecture. *Nat Neurosci*. 2009 Nov;12(11):1370-1. <https://doi.org/10.1038/nn.2412>

Serra L, Cercignani M, Petrosini L, Basile B, Perri R, Fadda L, Spanò B, Marra C, Giubilei F, Carlesimo GA, Caltagirone C, Bozzali M. Neuroanatomical correlates of cognitive reserve in Alzheimer disease. *Rejuvenation Res*. 2011 Apr;14(2):143-51. <https://doi.org/10.1089/rej.2010.1103>

Seshadri S, Beiser A, Selhub J, Jacques PF, Rosenberg IH, D'Agostino RB, Wilson PW, Wolf PA. Plasma homocysteine as a risk factor for dementia and Alzheimer's disease. *N Engl J Med*. 2002 Feb 14;346(7):476-83. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa011613>

Schafer JH, Glass TA, Bolla KI, Mintz M, Jedlicka AE, Schwartz BS. Homocysteine and Cognitive Function in a Population-Based Study of Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2005. 53(3):381–388. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53153.x>

Schwellnus M, Soligard T, Alonso JM, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, Gabbett TJ, Gleeson M, Häggglund M, Hutchinson MR, Janse Van Rensburg C, Meeusen R, Orchard JW, Pluim BM, Raftery M, Budgett R, Engebretsen L. How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *Br J Sports Med*. 2016 Sep;50(17):1043-52. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096572>

Short AK, Yeshurun S, Powell R, Perreau VM, Fox A, Kim JH, Pang TY, Hannan AJ. Exercise alters mouse sperm small noncoding RNAs and induces a transgenerational modification of male offspring conditioned fear and anxiety. *Transl Psychiatry*. 2017 May 2;7(5):e1114. <https://doi.org/10.1038/tp.2017.82>

Stern Y. What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *J Int Neuropsychol Soc*. 2002 Mar;8(3):448-60. <https://doi.org/10.1017/S1355617702813248>

Steves CJ, Mehta MM, Jackson SH, Spector TD. Kicking Back Cognitive Ageing: Leg Power Predicts Cognitive Ageing after Ten Years in Older Female Twins. *Gerontology*. 2016;62(2):138-49. <https://doi.org/10.1159/000441029>

Sternäng O, Reynolds CA, Finkel D, Ernsth-Bravell M, Pedersen NL, Dahl Aslan AK. Grip

Strength and Cognitive Abilities: Associations in Old Age. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci.* 2016 Sep;71(5):841-8. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbv017>

Stroth S, Hille K, Spitzer M, Reinhardt R. Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults. *Neuropsychol Rehabil.* 2009 Apr;19(2):223-43. <https://doi.org/10.1080/09602010802091183>

Stroth S, Reinhardt RK, Thöne J, Hille K, Schneider M, Härtel S, Weidemann W, Bös K, Spitzer M. Impact of aerobic exercise training on cognitive functions and affect associated to the COMT polymorphism in young adults. *Neurobiol Learn Mem.* 2010 Oct;94(3):364-72. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2010.08.003>

Suo C, Singh MF, Gates N, Wen W, Sachdev P, Brodaty H, Saigal N, Wilson GC, Meiklejohn J, Singh N, Baune BT, Baker M, Foughi N, Wang Y, Mavros Y, Lampit A, Leung I, Valenzuela MJ. Therapeutically relevant structural and functional mechanisms triggered by physical and cognitive exercise. *Mol Psychiatry.* 2016 Nov;21(11):1633-1642. <https://doi.org/10.1038/mp.2016.19>

Tari AR, Norevik CS, Scrimgeour NR, Kobro-Flatmoen A, Storm-Mathisen J, Bergersen LH, Wrann CD, Selbæk G, Kivipelto M, Moreira JBN, Wisløff U. Are the neuroprotective effects of exercise training systemically mediated? *Prog Cardiovasc Dis.* 2019 Mar-Apr;62(2):94-101. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2019.02.003>

Taubert M, Draganski B, Anwander A, Müller K, Horstmann A, Villringer A, Ragert P. Dynamic properties of human brain structure: learning-related changes in cortical areas and associated fiber connections. *J Neurosci.* 2010 Sep 1;30(35):11670-7. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2567-10.2010>

Taubert M, Lohmann G, Margulies DS, Villringer A, Ragert P. Long-term effects of motor training on resting-state networks and underlying brain structure. *Neuroimage.* 2011 Aug 15;57(4):1492-8. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.078>

Themanson JR, Hillman CH. Cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise effects on neuroelectric and behavioral measures of action monitoring. *Neuroscience.* 2006 Aug 25;141(2):757-767. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.04.004>

Trejo JL, Carro E, Torres-Aleman I. Circulating insulin-like growth factor I mediates exercise-induced increases in the number of new neurons in the adult hippocampus. *J Neurosci.* 2001 Mar 1;21(5):1628-34. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-05-01628.2001>

Uhrich TA, Swalm RL. A pilot study of a possible effect from a motor task on reading performance. *Percept Mot Skills.* 2007 Jun;104(3 Pt 1):1035-41. <https://doi.org/10.2466/pms.104.3.1035-1041>

Van Praag H. Exercise and the brain: something to chew on. *Trends Neurosci.* 2009 May;32(5):283-90. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2008.12.007>

Varma VR, Chuang YF, Harris GC, Tan EJ, Carlson MC. Low-intensity daily walking activity is associated with hippocampal volume in older adults. *Hippocampus.* 2015 May;25(5):605-15. <https://doi.org/10.1002/hipo.22397>

Vermeer SE, van Dijk EJ, Koudstaal PJ, Oudkerk M, Hofman A, Clarke R, Breteler MM. Homocysteine, silent brain infarcts, and white matter lesions: The Rotterdam Scan Study. *Ann Neurol*. 2002 Mar;51(3):285-9. <https://doi.org/10.1002/ana.10111>

Vincent KR, Braith RW, Bottiglieri T, Vincent HK, Lowenthal DT. Homocysteine and lipoprotein levels following resistance training in older adults. *Prev Cardiol*. 2003 Fall;6(4):197-203. <https://doi.org/10.1111/j.1520-037x.2003.01723.x>

Voelcker-Rehage C, Godde B, Staudinger UM. Physical and motor fitness are both related to cognition in old age. *Eur J Neurosci*. 2010 Jan;31(1):167-76. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.07014.x>

Voelcker-Rehage C, Godde B, Staudinger UM. Physical and motor fitness are both related to cognition in old age. *Eur J Neurosci*. 2010 Jan;31(1):167-76. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.07014.x>

Voelcker-Rehage C, Niemann C. Structural and functional brain changes related to different types of physical activity across the life span. *Neurosci Biobehav Rev*. 2013 Nov;37(9 Pt B):2268-95. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.01.028>

Voss MW, Erickson KI, Prakash RS, Chaddock L, Malkowski E, Alves H, Kim JS, Morris KS, White SM, Wójcicki TR, Hu L, Szabo A, Klamm E, McAuley E, Kramer AF. Functional connectivity: a source of variance in the association between cardiorespiratory fitness and cognition? *Neuropsychologia*. 2010a Apr;48(5):1394-406. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.01.005>

Voss MW, Prakash RS, Erickson KI, Basak C, Chaddock L, Kim JS, Alves H, Heo S, Szabo AN, White SM, Wójcicki TR, Mailey EL, Gothe N, Olson EA, McAuley E, Kramer AF. Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. *Front Aging Neurosci*. 2010b Aug 26;2:32. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2010.00032>

Wang Z, Liang P, Jia X, Qi Z, Yu L, Yang Y, Zhou W, Lu J, Li K. Baseline and longitudinal patterns of hippocampal connectivity in mild cognitive impairment: evidence from resting state fMRI. *J Neurol Sci*. 2011 Oct 15;309(1-2):79-85. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2011.07.017>

Wasserman K.E.H.J., Sue D.Y., Stringer W.W., Whipp B.J., Principles of Exercise Testing and Interpretation. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia,PA.2005.

Yogev-Seligmann G, Hausdorff JM, Giladi N. The role of executive function and attention in gait. *Mov Disord*. 2008 Feb 15;23(3):329-42; quiz 472. <https://doi.org/10.1002/mds.21720>

Young WB. Transfer of strength and power training to sports performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2006 Jun;1(2):74-83. <https://doi.org/10.1123/ijsp.1.2.74>