Illustration by Bryan Christie Design

ЭВОЛЮЦИЯ

ЗАЧЕМ МОЗГУ ФИЗИЧЕСКИЕ УПРАЖНЕНИЯ?

В процессе эволюции человека его тело и разум оказались связаны, и, вероятно, это можно использовать для замедления старения мозга

Джин Александер и Дэвид Райхлен

ОБ АВТОРАХ

Джин Александер (Gene Alexander) — профессор психологии и психиатрии и руководитель Лаборатории нейровизуализации, поведения и старения в Аризонском университете. Изучает старение мозга у здоровых людей и у тех, кто страдает от нейродегенеративных заболеваний.

Дэвид Райхлен (David Raichlen) — профессор биологии и руководитель лаборатории эволюционной биологии физической активности в Южно-Калифорнийском университете. Исследует биомеханику и физиологию физических упражнений с эволюционной точки зрения.

В 1990-х гг. исследователи сообщили о серии открытий, опровергавших главную догму нейробиологии. Десятилетиями считалось, что во взрослом мозге не образуется новых нейронов. Когда организм достигает зрелого возраста, мозг начинает терять нервные клетки, не приобретая новых, и мышление ухудшается. Однако появились доказательства, что новые нейроны могут образовываться и во взрослом мозге. В одном замечательном эксперименте с мышами ученые показали, что простое беганье в колесе вызывает появление новых нейронов в гиппокампе — структуре мозга, связанной с памятью. Потом в других исследованиях обнаружилось, что физические упражнения положительно влияют и на мозг человека, особенно в пожилом возрасте, и что они могут даже снижать риск появления болезни Альцгеймера и других нейродегенеративных заболеваний. Из этих открытий последовал важный вопрос: почему вообще физические упражнения влияют на мозг?

Спортивная активность улучшает работу многих систем органов, но эти эффекты, как правило, связаны с улучшением физических способностей. Например, когда вы ходите или бегаете, ваши мышцы потребляют больше кислорода, и со временем ваша сердечно-сосудистая система увеличит размер сердца и сформирует новые кровеносные сосуды. Такие изменения — реакция на физическую нагрузку, они повышают выносливость организма. Но на какую нагрузку в таком случае реагирует мозг?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, надо пересмотреть наши представления о физических упражнениях. Обычно люди считают, что таким формам активности, как ходьба и бег, присущ автоматизм. Но в течение последних десяти лет мы и другие ученые провели исследования, показавшие, что подобные общепринятые представления ошибочны. На самом деле физические упражнения — это не только физическая, но и умственная деятельность. Связь между физической активностью и здоровьем мозга

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Сегодня хорошо известно, что физические упражнения положительно влияют на мозг, особенно в пожилом возрасте.
- При этом не совсем понятно, почему физическая активность вообще влияет на мозг.
- Связь между физическими упражнениями и мозгом могла сформироваться давно, когда происходили ключевые события в эволюции человека.

можно проследить на миллионы лет назад к тем временам, когда формировались отличительные черты человечества. Если мы сможем разобраться, как и почему физические упражнения воздействуют на мозг, возможно, мы сумеем использовать соответствующие физиологические подходы для создания новых комплексов упражнений для стимуляции когнитивных способностей пожилых людей. Это то, чем мы сейчас занимаемся.

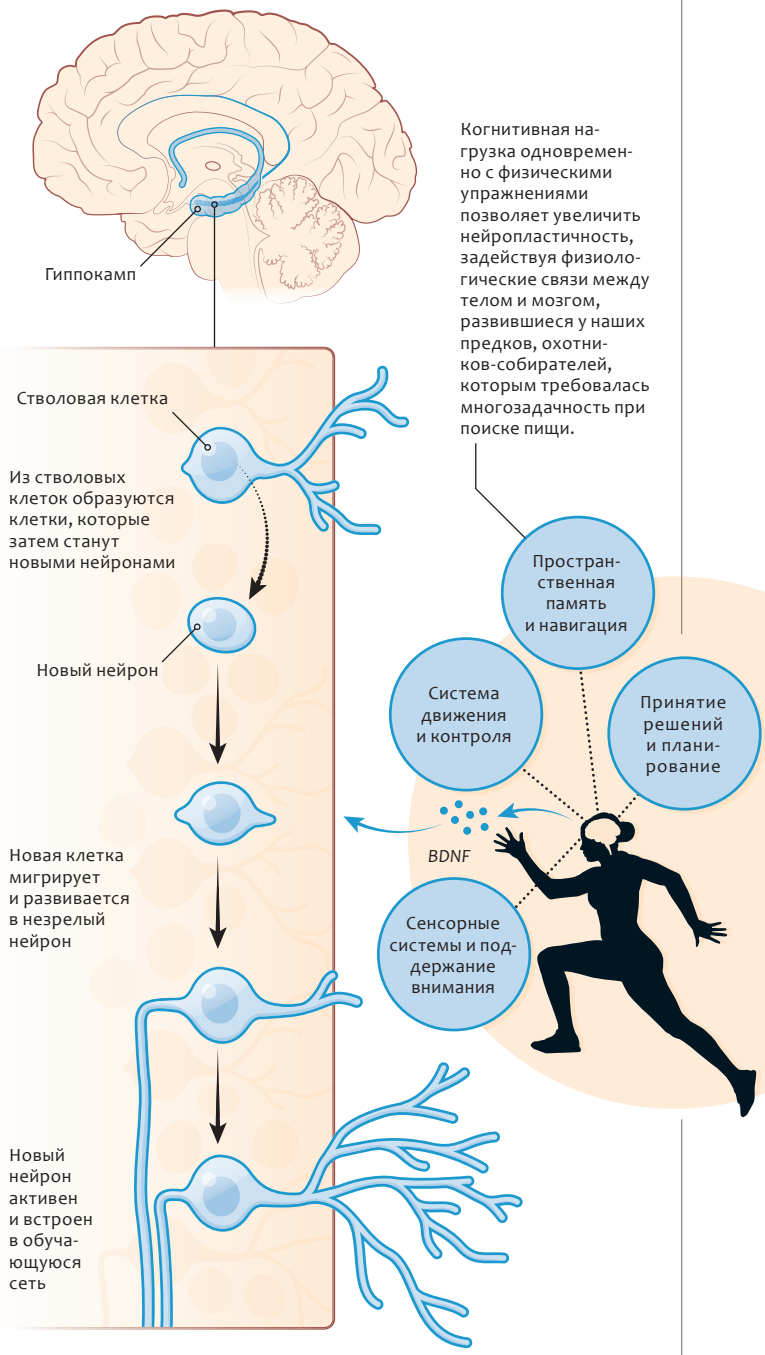
Пластичность мозга

Для того чтобы понять, почему физические упражнения полезны для мозга, надо сначала рассмотреть, какие структуры мозга и когнитивные функции сильнее всего реагируют на упражнения. В 1990-х гг. ученые из Института биологических исследований Солка, расположенного в Ла-Хойе в Калифорнии, под руководством Фреда Гейджа (Fred Gage) и Генриетты Ван Прааг (Henriette Van Praag) показали, что бег усиливает образование новых нейронов в гиппокампе у мышей. Было отмечено, что процесс, по-видимому, связан с выработкой белка, который называется «нейротрофический фактор мозга» (*brain-derived neurotrophic factor, BDNF*). *BDNF* вырабатывается по всему телу, а также в мозге и способствует росту и выживанию образующихся нейронов. Группа из Института Солка и другие ученые показали, что вызванный физическими упражнениями нейрогенез у грызунов сопровождается улучшением выполнения задач, связанных с памятью. Это были поразительные результаты, поскольку с атрофией гиппокампа в значительной степени связано ухудшение памяти при старении здоровых людей и особенно при таких нейродегенеративных заболеваниях, как болезнь Альцгеймера. Результаты исследований на грызунах заложили представления о том, что физические упражнения могут противостоять ухудшению памяти.

После данной работы ученые провели еще ряд исследований и выяснили, что у людей, так же как у грызунов, аэробные упражнения способствуют выработке *BDNF* и увеличению объема и числа связей в ключевых областях мозга, в том числе в гиппокампе. В рандомизированном исследовании, выполненном Кирком Эриксоном (Kirk Erickson) и Артуром Крамером (Arthur Kramer) в Иллинойсском университете в Эрбане-Шампейне, после 12 месяцев аэробных упражнений у пожилых людей повысился уровень *BDNF*, увеличился размер гиппокампа и улучшилась память.

Новые нейроны в стареющем мозге

Физические упражнения вызывают благотворные изменения во взрослом мозге за счет образования новых нейронов и увеличения числа связей между уже существующими. По-видимому, увеличение нейропластичности с помощью физической активности обеспечивается в том числе и увеличением выработки белка, который называется «нейротрофический фактор мозга» (*BDNF*). Он способствует росту и выживанию нейронов. Недавно было показано, что этот процесс усиливается, если во время физических упражнений добавляется когнитивная нагрузка.



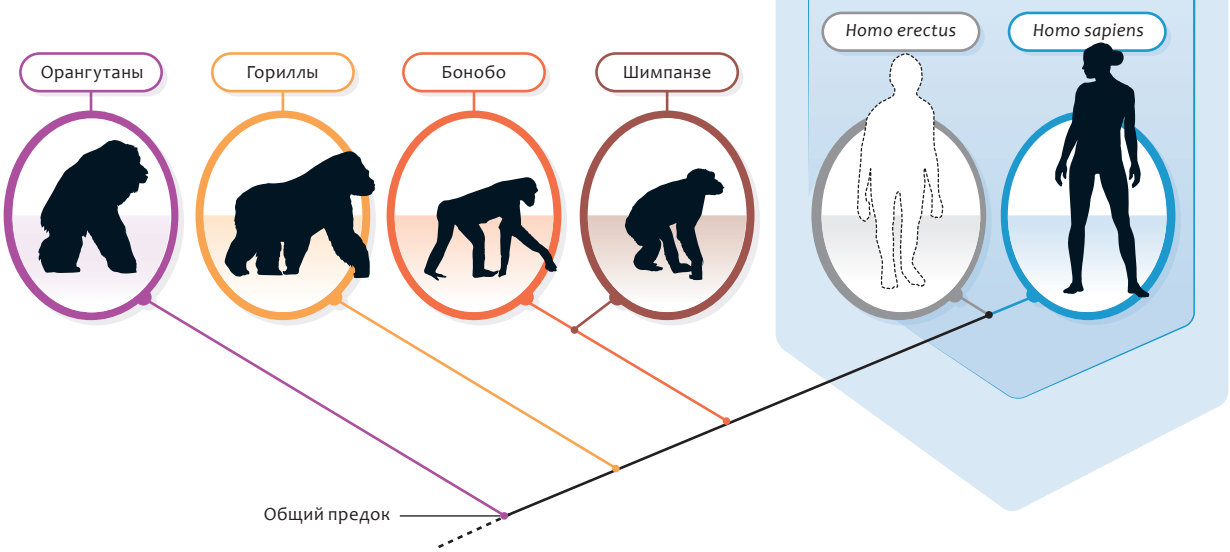
Illustrations by Tami Tolpa

Встань и берись за дело

За 6–7 млн лет, прошедших с тех пор, как человеческая ветвь отделилась от ветви шимпанзе и бонобо, у нашего вида сформировался целый ряд особенностей, отличающих нас от других обезьян. Благотворное влияние на мозг сочетания когнитивной нагрузки и физических упражнений может быть обусловлено двумя эволюционными изменениями — переходом к прямохождению и образу жизни охотника-собирателя. Из-за этого люди стали физически более активны по сравнению с другими приматами и возросла наша способность к многозадачности.

Прямохождение
Примерно 6–7 млн лет назад предки человека отказались от передвижения на четвереньках и встали на задние конечности. Замена четвероногого перемещения на двуногое вызвала сложности с поддержанием равновесия и, вероятно, предъявила новые требования к мозгу.

Охота и собирательство
Около 2 млн лет назад наши предки начали охотиться. При такой стратегии требуется гораздо больше аэробной активности, чем при питании растениями, как это делают обезьяны. И при этом нужно, чтобы мозг во время движения выполнял множество когнитивных задач.



Другие ученые в ходе различных исследований также обнаружили связь между физическими упражнениями и состоянием гиппокампа. В нашей собственной работе, проведенной в Великобритании и опубликованной в журнале *Brain Imaging and Behavior* в 2019 г., участвовало 7 тыс. человек среднего и пожилого возраста. Мы показали, что у людей, которые тратили больше времени на умеренную или интенсивную физическую активность, гиппокамп был большего объема. Пока еще невозможно определить, связаны ли данные эффекты у людей с нейрогенезом или же с другими формами пластичности мозга, такими как увеличение числа связей между уже существующими нейронами, но в совокупности эти результаты ясно указывают, что физические упражнения могут быть полезны для гиппокампа и когнитивных функций.

Исследователи также показали пользу аэробных упражнений для других отделов мозга. Например, наблюдалось увеличение префронтальной коры — участка, расположенного в районе лба, — которое было связано с улучшением исполнительных когнитивных функций, таких как планирование, принятие решений и мультизадачность. Эти способности, так же как и память, обычно ухудшаются и у здоровых пожилых людей, и особенно при болезни Альцгеймера. Ученые предполагают, что если речь не идет о гиппокампе, то благотворное влияние физических упражнений на мозг и в том числе на префронтальную кору обусловлено увеличением связей между существующими нейронами, а не образованием новых.

Прямоходящие и активные

Появлялось все больше данных о том, что аэробные упражнения могут способствовать здоровью мозга, особенно у пожилых людей, поэтому надо было выяснить,

как именно физическая активность создает нагрузку на мозг, запуская когнитивные улучшения в качестве адаптации. Мы предположили, что для начала хорошо было бы изучить взаимоотношения между мозгом и телом в свете эволюции. 6–7 млн лет назад гоминины (группа, состоящая из современных людей и наших ближайших вымерших родственников) отделились от ветви, идущей к нашим ближайшим ныне живущим родственникам (шимпанзе и бонобо). В это время у гомининов развились некоторые анатомические и поведенческие адаптации, которые отличают нас от остальных приматов. Мы предполагаем, что среди этих эволюционных изменений было два, обеспечивающих ту самую связь между физической активностью и мозгом, которую люди могут использовать в наше время.

Во-первых, наши предки перешли от передвижения на четвереньках к прямохождению на задних ногах. Такое двуногое положение означает, что бывают моменты, когда наше тело опасно балансирует на одной ноге, а не на двух и более конечностях, как это делают другие обезьяны. Для поддержания равновесия наш мозг должен учитывать большое количество информации и в процессе корректировать мышечную активность всего тела. Координируя все движения, мы одновременно должны следить за появлением препятствий в окружающей среде. Другими словами, просто из-за того, что мы двуногие, на наш мозг ложится бóльшая когнитивная нагрузка, чем у наших четвероногих предков.

Во-вторых, образ жизни гомининов изменился так, что у них возрос уровень аэробной нагрузки. Согласно ископаемым данным, на ранних этапах эволюции человека наши предки были относительно оседлыми двуногими обезьянами, питавшимися преимущественно растениями. Однако около 2 млн лет назад климат стал суше и холоднее — и как минимум одна группа предков человека начала питаться иначе: охотиться на животных и собирать пищу на земле. Охота и собирательство были преобладающими стратегиями питания у людей на протяжении почти 2 млн лет, и лишь примерно 10 тыс. лет назад появились земледелие и скотоводство. Вместе с Германом Понцером (Herman Pontzer) из Дюкского университета и Брайаном Вудом (Brian Wood) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе мы показали, что при охоте и собирательстве наши предки перемещались на большие расстояния, поэтому у них было гораздо больше аэробной активности, чем у других обезьян.

Увеличение ежедневной физической активности сопровождалось повышением требований к работе мозга. Уходя при поиске пищи на большие расстояния, охотники-собиратели должны были внимательно смотреть по сторонам, чтобы не заблудиться. Такой ориентацией в пространстве занимается гиппокамп, тот самый участок мозга, для которого полезны физические упражнения и который имеет тенденцию атрофироваться с возрастом. Кроме того, наши предки должны были помнить, где они уже бывали раньше и в какое время были доступны определенные виды пищи. Мозг использует данную информацию, работая с кратковременной и долговременной памятью, так что люди могут принимать решения и планировать свои маршруты, и для выполнения этих когнитивных задач наряду с другими областями используются гиппокамп и префронтальная кора. Наконец, охотники-собиратели часто отправляются за едой группами, и тогда они могут разговаривать, в то время как их мозг занимается поддержанием равновесия и определением положения в пространстве. Подобная многозадачность отчасти контролируется префронтальной корой, которая тоже имеет тенденцию истончаться с возрастом.

Несмотря на то что любому животному в поисках пищи нужно ориентироваться и определять, где искать еду, охотники-собиратели должны заниматься этим во время быстрых перемещений, иногда на расстояние свыше 20 км. При высокой скорости многозадачность становится еще более сложной и требует более оперативной переработки информации. С эволюционной точки зрения было бы выгодно иметь мозг, готовый решать множество задач во время и после поиска пищи, чтобы с наибольшей вероятностью раздобыть еду. Однако для создания и поддержания такого мозга и в том числе для формирования и выживания новых нейронов требуется большое количество энергетических ресурсов, поэтому если эта система не используется регулярно, то она, по-видимому, невыгодна.

Мы подробно описали эволюционный нейробиологический взгляд на связь мозга с физической активностью в статье, опубликованной в 2017 г. в *Trends in Neurosciences*. Для современного человека эта связь имеет принципиальное значение. Сейчас нам не нужно заниматься аэробной

физической активностью, чтобы не умереть с голоду. Атрофия мозга и сопутствующие ей когнитивные нарушения, обычные при старении, могут быть отчасти вызваны нашим сидячим образом жизни.

Но для того чтобы с помощью физической активности затормозить процесс ухудшения когнитивных функций и полностью реализовать все возможности этого подхода, недостаточно просто увеличить объем тренировок. Учитывая нашу модель, даже люди, которые уже имеют большое количество аэробной активности, могут захотеть изменить свои привычки. Вполне возможно, что мы не всегда упражняемся так, чтобы в полной мере использовать возникшие в процессе эволюции механизмы поддержания работы мозга.

Министерство здравоохранения США рекомендует заниматься аэробными упражнениями как минимум 150 минут в неделю, если нагрузка средней интенсивности, или минимум 75 минут в неделю, если нагрузка высокой интенсивности. Выполнение упражнений в таком или большем объеме полезно для организма и может улучшать работу мозга

Задумайтесь о том, как многие из нас выполняют аэробные упражнения. Часто мы приходим для этого в спортзал и пользуемся стационарным тренажером. В такой тренировке самой сложной когнитивной задачей будет решить, какой канал смотреть на встроенном телевизоре. Более того, помимо отсутствия когнитивных задач, связанных с движением в меняющейся среде, на тренажере исчезают некоторые проблемы, связанные с поддержанием равновесия и регулированием скорости.

Может быть, такая форма физических упражнений — самообман? Наши предки эволюционировали в непредсказуемом мире. Может быть, мы могли бы изменить наши упражнения так, чтобы добавить в них когнитивные задачи, с которыми сталкивались наши предки — охотники-собиратели? Если мы сумеем улучшить физические упражнения, добавив к ним когнитивную активность, то, вероятно, мы сможем повысить эффективность упражнений, предназначенных для улучшения когнитивных способностей у пожилых людей, и даже изменить течение таких нейродегенеративных заболеваний, как болезнь Альцгеймера.

Двигайся и думай

Появляется все больше исследований, где показано, что физические упражнения, стимулирующие когнитивную деятельность, действительно полезнее для мозга, чем упражнения без когнитивной составляющей. Например, Герд Кемперманн (Gerd Kempermann) и его коллеги из Центра регенеративной терапии в Дрездене изучали эту возможность, сравнивая рост и выживаемость новых нейронов в гиппокампе мышей после физической нагрузки и после физической нагрузки в сочетании с доступом к обогащенной среде. Они обнаружили, что эффекты суммируются: физические упражнения сами по себе были полезны для гиппокампа, однако сочетание физической активности с когнитивной нагрузкой в стимулирующей среде было еще лучше, способствовало формированию еще большего количества новых нейронов. Использование мозга во время и после тренировки, по-видимому, способствовало повышенной выживаемости нейронов.

Недавно мы начали проводить и исследования на людях. Результаты обнадеживают. Например, изучалось влияние сочетания физической и когнитивной нагрузок на людей с заметно сниженными когнитивными способностями. Кэй Андерсон-Хэнли (Cay Anderson-Hanley) из Юнион-колледжа в Скенектади предлагала одновременно физическую и когнитивную нагрузку людям с умеренными когнитивными нарушениями, то есть имеющим повышенный риск развития болезни Альцгеймера. Безусловно, прежде чем можно будет сделать четкие выводы, требуются еще дополнительные исследования, но пока результаты позволяют предположить, что людям, у которых уже есть некоторые когнитивные ухудшения, может быть полезно сочетание физических упражнений с интеллектуально сложной видеоигрой. Кроме того, Андерсон-Хэнли с коллегами показали, что у взрослых здоровых людей сочетание физических

упражнений с интеллектуально сложной видеоигрой вызывает большее увеличение уровня циркулирующего *BDNF*, чем одни только физические упражнения. Подобные результаты еще сильнее укрепляют представления о том, что польза мозгу от физической нагрузки обеспечивается с помощью *BDNF*.

В нашем исследовании мы разработали игру, предназначенную для того, чтобы специально нагрузить те когнитивные способности, которые имеют тенденцию ухудшаться с возрастом и были необходимы нашим предкам при поиске пищи. Участники получают умеренную аэробную нагрузку за счет езды на велосипеде и одновременно играют в игру, где должны ориентироваться в пространстве и выполнять задания, требующие внимания и памяти. Чтобы оценить перспективность такого подхода для улучшения когнитивных показателей у здоровых пожилых людей, мы сравниваем четыре группы: с игрой и физическими упражнениями, с упражнениями и без игры, с игрой и без упражнений и контрольную группу, где участники смотрят видео про природу. На сегодня результаты кажутся многообещающими.

Многие другие исследователи проверяют эффект от сочетания физических упражнений с когнитивными задачами. По-видимому, в ближайшем будущем мы начнем лучше понимать, как использовать такую нагрузку для поддержания и улучшения когнитивных способностей у здоровых людей и у тех, кто в связи с болезнью имеет когнитивные нарушения.

Помимо специально разработанных процедур, описанных выше, активировать способности мозга возможно с помощью занятий спортом, в котором аэробные упражнения сочетаются с когнитивными задачами. Например, недавно мы показали, что у студентов, которые бегают по пресеченной местности и много тренируются под открытым небом, усиливается связь между областями мозга, обеспечивающими исполнительные когнитивные функции, по сравнению со здоровыми, но менее подвижными молодыми людьми. Дальнейшие исследования помогут выяснить, окажутся ли эти улучшения более значительными, чем у бегунов, тренирующихся в менее сложных условиях, например на беговой дорожке.

Многое еще предстоит узнать. Но, хотя пока еще рано давать конкретные рекомендации про сочетание физических упражнений с когнитивными задачами, мы можем уверенно утверждать, что физические упражнения — это ключевой фактор для сохранения хорошей работы мозга в пожилом возрасте. Согласно рекомендациям Министерства здравоохранения и социальных служб США, необходимо заниматься аэробными упражнениями как минимум 150 минут в неделю, если нагрузка средней интенсивности, или минимум 75 минут в неделю, если нагрузка высокой интенсивности (либо использовать адекватную комбинацию обоих видов нагрузки). Выполнение упражнений в таком или большем объеме полезно для организма и может улучшать работу мозга.

В дальнейшем клинические испытания расскажут нам больше об эффективности физических упражнений с когнитивными элементами: например, какие виды умственной и физической активности наиболее полезны, каковы должны быть оптимальная интенсивность и продолжительность упражнений для улучшения когнитивных способностей. Но в свете имеющейся на текущий момент информации мы считаем, что, продолжив тщательные исследования, в итоге сможем использовать связи между мозгом и телом и задействовать возникшую в процессе эволюции способность улучшать пластичность в пожилом возрасте с помощью физических упражнений. Совместная тренировка тела и мозга поможет сохранять острый ум на протяжении всей жизни. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ Понцер Г. Эволюция и тренировки // ВМН, № 3, 2019.

■ Exercise, APOE Genotype, and the Evolution of the Human Lifespan. David A. Raichlen and Gene E. Alexander in Trends in Neurosciences, Vol. 37, No. 5, pages 247–255; May 2014.

■ Adaptive Capacity: An Evolutionary Neuroscience Model Linking Exercise, Cognition, and Brain Health. David A. Raichlen and Gene E. Alexander in Trends in Neurosciences, Vol. 40, No. 7, pages 408–421; July 2017.

■ Differential Associations of Engagement in Physical Activity and Estimated Cardiorespiratory Fitness with Brain Volume in Middle-Aged to Older Adults. David A. Raichlen et al. in Brain Imaging and Behavior. Опубликовано онлайн 17.06.2019. https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11682-019-00148-x