

ПСИХОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ

Научная статья

УДК 159.99, 57.032

doi: 10.24412/2073-0861-2022-4-106-120

КОГНИТИВНЫЙ И БИОЛОГИЧЕСКИЙ ВОЗРАСТ ЧЕЛОВЕКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ В ИССЛЕДОВАНИИ СТАРЕНИЯ

И.С. Поликанова^{*1, 2}, П.В. Балан³, О.В. Мартынова^{4, 5}

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

^{2, 3, 4} Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Москва, Россия

⁵ Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия, omartynova@hse.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>

³ Polina.balan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8205-8414>

* Автор, ответственный за переписку: irinapolikanova@mail.ru

Актуальность. Исследований в области здорового долголетия становится все больше в связи с популяризацией здорового образа жизни среди населения. Одновременно с этим растет и интерес к проблеме диагностики когнитивного и физиологического функционирования человека в процессе нормального старения. Многие ученые сходятся во мнении, что хронологический, биологический, а также когнитивный возрасты могут не соответствовать друг другу. Существует много причин, по которым это происходит.

Цель исследования — систематизация и анализ данных о последних трендах в определении когнитивного и биологического возрастов человека, соотнесение параметров их измерения; выявление основных структурных изменений мозга при нормальном старении; освещение возможности улучшения когнитивного функционирования человека.

Результаты. Проведенный анализ показал, что когнитивный и биологический возрасты являются комплексными показателями, на которые влияет большое количество факторов — средовых и генетических. Существуют разные способы измерения как биологического возраста, так и когнитивного. Единого метода или подхода до сих пор не существует. Для измерения биологического возраста все чаще используются методы на основе комплексных индексов, эпигенетические часы, методы на основе деления теломер и метилирования ДНК. Все большую популярность приобретают методы измерения когнитивного возраста на основе динамики когнитивных функций, которые весьма пластичны и могут быть скорректированы.

Выводы. В связи с увеличением продолжительности жизни населения подробное исследование параметров когнитивного возраста и способов нейропротекции в ближайшие годы станет одним из ключевых исследовательских трендов в области изучения старения.

Ключевые слова: когнитивный возраст, биологический возраст, мозговые корреляты старения, когнитивные корреляты старения, улучшение когнитивного функционирования.

Информация о финансировании. Исследование выполнено при поддержке Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2022 г. и в рамках НИР факультета биологии и биотехнологии НИУ ВШЭ «Фундаментальное исследование актуальных вопросов когнитивных нейронаук и правовых основ биологии, медицины, а также биоэтики».

Для цитирования: Поликанова И.С., Балан П.В., Мартынова О.В. Когнитивный и биологический возраст человека: актуальные вопросы и новые перспективы в исследовании старения // Теоретическая и экспериментальная психология. 2022. № 4 (15). С. 106–120. doi: 10.24412/2073-0861-2022-4-106-120

DEVELOPMENTAL PSYCHOLOGY

Scientific Article

doi: 10.24412/2073-0861-2022-4-106-120

COGNITIVE AND BIOLOGICAL AGE: CURRENT ISSUES AND NEW PERSPECTIVES IN AGING RESEARCH

Irina S. Polikanova^{*1, 2}, Polina V. Balan³, Olga V. Martynova^{4, 5}

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

^{2, 3, 4} National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

⁵ Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, omartynova@hse.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>

³ Polina.balan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8205-8414>

* Corresponding author: irinapolikanova@mail.ru

Background. Research in the field of healthy longevity is increasing due to the popularization of a healthy lifestyle among the population. At the same time there is a growing interest in the problem of diagnosing cognitive and physiological functioning of a person in the process of normal aging. Many scientists agree that chronological, biological, and cognitive ages often do not correspond to each other and there are many reasons for that.

Objective. The purpose of the study was to systematize and analyze the data concerning the latest trends in determining the cognitive and biological age of a person, the possibility of correlating these parameters, to identify the main structural changes in the brain during the normal aging, to illuminate the possibilities of improving the cognitive functioning of a person.

Results. The analysis has revealed that biological and cognitive ages are complex indicators, which are influenced by a huge number of factors, both environmental and genetic. There are different ways for measuring biological and cognitive ages. Yet there is still no single method or approach. For measuring biological age, they often resort to the methods based on the complex indices, epigenetic clocks, on the telomere division and

DNA methylation. For measuring cognitive age, the most recognized are those based on the dynamics of cognitive functions, which are highly plastic and can be adjusted.

Conclusion. Due to the increasing longevity of the population, the detailed study of the cognitive age parameters and neuroprotection methods will become one of the key research trends in the field of aging in the coming years.

Keywords: cognitive age, biological age, brain correlates of aging, cognitive correlates of aging, enhancement of cognitive functioning.

Funding. The study was implemented in the framework of the Basic Research Program at the National Research University “Higher School of Economics” (HSE University) in 2022 and as a part of the research project of the Department of Biology and Biotechnology (HSE University) “Fundamental research of topical issues of cognitive neuroscience and legal foundations of biology, medicine, and bioethics”.

For citation: Polikanova, I.S., Balan, P.V., Martynova, O.V. (2022). Cognitive and biological age: current issues and new perspectives in aging research. Teoreticheskaya i eksperimental'naya psikhologiya (Theoretical and experimental psychology), 4 (15), 106–120. doi: 10.24412/2073-0861-2022-4-106-120

Введение

Исследований в области изучения старения и здорового долголетия становится с каждым годом все больше в связи с популяризацией здорового образа жизни. Показано, что *хронологический возраст* (ХВ) человека далеко не всегда соответствует его *биологическому возрасту* (БВ) и *когнитивному возрасту* (КВ). Единого подхода к определению БВ и КВ в настоящее время нет (Ashiqur Rahman et al., 2021; Hanafi et al., 2021; Jia et al., 2017). Известно, что при одинаковом ХВ, или календарном возрасте, люди могут значительно различаться по степени старения организма. Для характеристики этого феномена вводится понятие биологического возраста (БВ), который можно определить как показатель развития, изменения или «износа» организма и его структурных элементов, определяемый путем соотнесения возрастных изменений биомаркеров старения с эталонными среднестатистическими зависимостями изменений этих биомаркеров (Крутько и др., 2014). Реальный БВ отличается от ХВ, поскольку включает в себя скорость старения каждого органа человека, и по этой причине его очень трудно оценить (Рябчикова и др., 2009; Leone et al., 2019). Кроме того, на БВ значительное влияние оказывают такие факторы, как генетика, эпигенетика, окружающая среда, условия жизни, условия труда, хронические заболевания, вредные привычки, физическая активность и спорт (Крутько и др., 2014; Finkel et al., 2017). Вместе с тем, знание точного БВ может помочь в определении причин и темпов старения человека, подборе терапий омоложения и не только.

Таким образом, в контексте определения БВ и КВ возникает важная задача разработки методов адекватной оценки показателей возраста, поскольку в настоящее время не существует единого мнения по данному вопросу, а в научных исследованиях применяется широкий спектр методов и подходов для определения возрастных параметров (Ashiqur Rahman et al., 2021; Cho et al., 2010; Hanafi et al., 2021; Jia et al., 2017; Karasik et al., 2005; Klemera, Doubal, 2006; Leone et al., 2019; Solovev et al., 2020; Starnawska et al., 2017). В связи с этим

сравнение результатов различных исследований затруднительно, поскольку они используют разную методологию.

Современные исследования в области изучения БВ и КВ, как правило, придерживаются позиций системного подхода для определения сущности и механизмов старения, сочетающего анализ сразу нескольких несвязанных, или «ортогональных», параметров организма, отражающих возрастную физиологию, биохимические и молекулярно-генетические характеристики, возрастную хроническую патологию, пределы адаптации и функциональные резервы, физическую и умственную работоспособность, характеристики старения наиболее важных органов и систем, самооценку состояния здоровья (Крутько и др., 2014; Плакуев и др., 2011; Прохоров и др., 2019; Jia et al., 2017), которые в свою очередь эффективно используются для построения математических моделей и машинного обучения искусственного интеллекта (Ashiqur Rahman et al., 2021; Cho et al., 2010b; Klemra, Doubal, 2006).

По некоторым подсчетам, в настоящее время известно около 2 тыс. показателей, являющихся биомаркерами старения (Крутько и др., 2014). Среди них можно выделить несколько основных групп:

- внешние проявления и морфологические показатели (изменения массы тела, роста, появление седины, облысение и др.);
- физиологические функции в покое и при нагрузке (острота зрения, сила кисти доминирующей руки; давление; частота сердечных сокращений (ЧСС) в покое; артериальное напряжение кислорода; изгибы позвоночника; эластичность кожи; максимальное поглощение кислорода при физической нагрузке; скорость выполнения физических упражнений; частота дыхания (ЧД) при физической нагрузке; жизненная емкость легких, клиренс креатинина, сахарная нагрузка, скорость кислородного обмена и др.);
- психологические показатели и характеристики нервной системы (тесты на интеллект, на концентрацию внимания, на память, на скорость реакции, координациометрия и др.);
- биохимические, молекулярно-генетические и клинические показатели (эпигенетические часы, длина теломер, транскриптомные предикторы, протеомные предикторы, предикторы на основе метаболомики и комбинированные предикторы, включающие такие биомаркеры, как число эритроцитов и гемоглобин, содержание в крови фибриногена, общего белка, альбумина, азота мочевины, кальция, креатинина и мочевой кислоты, холестерина, триглицеридов и фосфолипидов, соотношение альбумин/глобулин, активность в крови щелочной фосфатазы, трансаминаз и трансфераз и др.).

Определение биологического возраста человека

Наиболее часто в научных исследованиях для определения БВ используются различные индексы, в основе которых лежит множество физиологических параметров (Cho et al., 2010; Leone et al., 2019). Недостатком такого подхода является необходимость измерения большого количества показателей (как правило, не менее 20–30).

Существует много исследований, которые показывают высокую корреляцию показателя деления теломер и уровня метилирования ДНК с БВ (Крутько

и др., 2014; Hanafi et al., 2021; Petkovich et al., 2017; Starnawska et al., 2017). По некоторым данным, определение эпигенетического старения по метилированию ДНК генов ITGA2B, ASPA и PDE4C позволяет определить биологический возраст человека со средним абсолютным отклонением от хронологического возраста не более 5 лет (Weidner et al., 2014).

Определение когнитивного возраста человека

Когнитивные изменения в процессе нормального старения, также как и физиологические параметры, у разных людей проявляются по-разному (Cole et al., 2019; Deary et al., 2009).

В исследованиях возрастных изменений когнитивных функций ученые, как правило, пытаются выделить когнитивные паттерны, свойственные нормальному процессу старения, а также когнитивные корреляты патологического процесса старения. Нормальный процесс старения связан со снижением определенных когнитивных способностей, таких как скорость обработки информации и некоторых аспектов памяти, речи, зрительно-пространственных и исполнительных функций (Deary et al., 2009; Harada et al., 2013).

Д. Видаль-Пинеиро с коллегами акцентировали внимание на изучении возраста мозга (*brain age*), поскольку этот параметр часто используется для количественной оценки здоровья мозга человека, в том числе для определения отклонения от нормативной траектории старения мозга (Vidal-Pineiro et al., 2021). Считается, что увеличение дельты между ХВ и возрастом мозга может отражать прошедшие и продолжающиеся процессы нейробиологического старения и свидетельствовать об увеличении скорости старения мозга, а также о психическом и когнитивном здоровье. Кроме того, эту дельту можно использовать для прогнозирования наступления смерти (Elliott et al., 2019; Franke, Gaser, 2019; Smith et al., 2020).

Некоторые авторы предлагают определять возраст мозга на основе его биоэлектрической активности (Нуретдинова, 2008). Предполагается, что замедление с возрастом частоты альфа-ритма является стабильным электроэнцефалографическим показателем старения мозга. Некоторые авторы рассматривают интенсивность замедления альфа-ритма как биологические часы старения мозга (Фролькис, 1998).

Существуют подходы измерения БВ на основе использования данных нейровизуализации, в частности, магнитно-резонансной томографии (МРТ). Так, К. Арманиус с коллегами обучили нейронную сеть (*Age-Net*) распознавать параметры, связанные с нейродегенеративными процессами, а также предсказывать ожидаемые когнитивные ухудшения у пациентов с болезнью Альцгеймера (Armanious et al., 2021).

В последние годы данные нейровизуализации все чаще используются для моделирования старения здорового мозга, поскольку они могут предоставить прогностическую информацию о развитии у человека когнитивных нарушений. К. Франке и К. Газер полагают, что в исследованиях мозгового возраста, включающих данные нейровизуализации, для лучшей прогностичности более целесообразен переход на измерение индивидуальных различий, а не средних групповых характеристик. Это связано с тем, что наблюдаемые изменения при различных заболеваниях, в том числе неврологических и психиатрических,

могут совпадать со структурными изменениями в процессе нормального старения, а также другими факторами (Franke, Gaser, 2019).

Таким образом, мы видим, что существуют разные подходы к измерению БВ и КВ. Но можно ли их отождествлять?

А. Старнавска с коллегами показали отсутствие корреляции между когнитивными способностями и метилированием ДНК (DNAmAge) на основе данных 486 монозиготных близнецов (Starnawska et al., 2017). Это может свидетельствовать об отсутствии прямой связи БВ, измеренного на основе физиологических и биомолекулярных показателей, с показателями КВ, измеренными на основе когнитивных показателей (память, мышление, концентрация внимания, когнитивный контроль и др.).

С. Макдональдом было проведено исследование, включающее анализ лонгитюдных и поперечных исследований на 125 добровольцах (возраст: 67–95 лет), в которых изучались в общей сложности около 170 биомаркеров БВ, среди которых были биофакторы, антропометрические, сенсомоторные, когнитивные, психосоциальные, физиологические, биомедицинские и поведенческие измерения (MacDonald et al., 2004). В рамках данного исследования изучались БВ и ХВ как возможные предикторы когнитивных изменений (скорость вербальной обработки, рабочая память, мышление, эпизодическая память и семантическая память) на протяжении 12 лет. Результаты показали, что БВ предсказывал фактические когнитивные изменения (снижение когнитивных функций) независимо от ХВ. Авторы делают вывод о том, что снижение когнитивных способностей, а соответственно и когнитивный возраст, в большей степени коррелирует именно с БВ, а не с ХВ (Ibid.).

Структурные изменения мозга при старении

Возрастные изменения когнитивных функций в первую очередь связаны со структурными изменениями мозга. Например, показано, что объем серого вещества начинает уменьшаться после 20 лет, и прежде всего, атрофия затрагивает префронтальную кору (Terry, Katzman, 2001). Также с возрастом происходят изменения в височных долях мозга, в частности, уменьшение гиппокампа (Raz et al., 2004). Ранее предполагалось, что уменьшение мозгового субстрата связано главным образом со смертью нейронов, но в последние годы начали появляться доказательства того, что оно обусловлено уменьшением размеров нейронов и синаптической плотности (Harada et al., 2013).

Структурные изменения мозга в процессе старения, как правило, анализируют на основе измерения объема мозга. Однако в настоящее время неясно, какие именно показатели — объем, толщина или площадь поверхности (или их комбинация) — являются биологически наиболее значимыми для определения когнитивного функционирования человека (Kaup et al., 2011). Например, оказывается, что толщина коры головного мозга и площадь ее поверхности могут иметь совершенно разные генетические основы (Raz et al., 2004) и, соответственно, эти показатели могут по-разному отражаться на изменении когнитивных функций с возрастом.

С. Карамма с коллегами исследовали связь между объемом ткани коры головного мозга и когнитивными функциями в пожилом возрасте, пытаясь найти между ними положительные связи (Karama et al., 2014). Авторами были проана-

лизируются 588 человек из Лотианской когорты 1936 г. рождения, у которых показатели коэффициента интеллекта (*IQ*) по одному и тому же когнитивному тесту были получены в возрасте 11 и 70 лет, а также данные МРТ мозга высокого разрешения, полученные в возрасте около 73 лет. Толщина коры головного мозга оценивалась в 81924 точках по всей коре головного мозга для каждого испытуемого. Результаты исследования показали не только наличие положительных корреляций между *IQ*, измеренным в 11 и 70 лет, но и наличие сильных связей между показателями интеллекта и толщиной коры головного мозга. При этом авторы с осторожностью делают выводы о причинно-следственной связи между когнитивными способностями и толщиной коры головного мозга в пожилом возрасте. Они полагают, что показатели когнитивных функций в детском возрасте могут быть полезны для анализа и прогноза когнитивного функционирования в старшем возрасте.

В работе К. Нарр и коллег (Narr et al., 2007) с использованием МРТ изучалась связь общего интеллекта (*Full Scale Intelligence Quotient, FSIQ*) с толщиной коры головного мозга, показателями серого и белого вещества, полом испытуемых. Для выявления возможных локализованных связей авторы изучили ассоциации *FSIQ* с толщиной коры с высоким пространственным разрешением по всей коре у здоровых молодых взрослых (возраст 17–44 года) мужчин ($n = 530$) и женщин ($n = 535$). Результаты исследования показали, что у здоровых взрослых людей более высокий интеллект связан с большим объемом серого вещества и в меньшей степени — с объемом белого вещества. Изменения в толщине префронтальной и задней височной коры были особенно связаны с интеллектуальными способностями. Пол влиял на региональные взаимосвязи, которые могут указывать на диморфизм в когнитивных способностях, общих стратегиях обработки информации или на различия в структурной организации мозга.

В исследовании А. Фьелл с коллегами показано, что толщина коры в большинстве мозговых областей линейно уменьшается с возрастом (Fjell et al., 2014). При этом существуют разные теории и концепции относительно динамики морфологических изменений мозга с возрастом. Доминирующая точка зрения заключается в том, что старение мозга представляет собой совокупность линейных и нелинейных дегенеративных и восстановительных процессов, вызывающих видимое линейное снижение на макроскопическом уровне. В то время как одни участки мозга могут характеризоваться линейными возрастными изменениями, на другие участки могут влиять различные дополнительные факторы, которые будут приводить к нелинейным изменениям.

Примечательно, что некоторые исследования показывают, что изменения в областях мозга, наиболее предрасположенных к патологии, связанной, к примеру, с болезнью Альцгеймера, не обязательно вызваны возрастными нейродегенеративными факторами (Ibid.). Фьелл с коллегами предполагают, что атрофия в уязвимых областях мозга может быть частью нормального процесса старения (Ibid.). Дополнительную сложность в изучении данного вопроса добавляет способность мозга к пластичности, которая позволяет на протяжении всей жизни претерпевать морфологические изменения в ответ на когнитивную стимуляцию (Draganski et al., 2006; Engvig et al., 2010). Поэтому важной задачей будущих исследований в данной области является определение конкретных

экологических и генетических факторов, влияющих на скорость истончения коры головного мозга.

Для изучения структурных изменений мозга в процессе здорового старения большое значение также имеют работы по исследованию нейроанатомических коррелятов интеллектуального развития в молодом возрасте. П. Шоу с коллегами говорят о том, что определение таких коррелятов у детей и подростков — сложная задача, в том числе из-за быстрого развития мозга (Shaw et al., 2006). Авторы в рамках лонгитюдного исследования показали, что именно траектория изменения толщины коры головного мозга, а не сама толщина коры наиболее тесно связана с уровнем интеллекта. Прежде всего это касается лобных областей коры, вовлеченных в созревание интеллектуальной деятельности. Более интеллектуально развитые дети демонстрируют высокую пластичность коры, с первоначальной ускоренной и продолжительной фазой увеличения коры, которая сменяется столь же энергичным истончением коры к раннему подростковому возрасту. Эти результаты согласуются с данными Э. Соуэлл с коллегами, которые провели анализ МРТ головного мозга детей в возрасте от 5 до 11 лет с разницей в два года (Sowell et al., 2004). Результаты данного исследования показали, что локальный рост мозга в таком возрасте прогрессирует со скоростью примерно 0,4–1,5 мм в год, наиболее заметен в лобной и затылочной областях. В исследовании М. Вилке с коллегами показано наличие положительной корреляции между коэффициентом интеллекта и объемом серого вещества в передней поясной извилине у детей старшего возраста и отсутствие такой связи у детей младшего возраста (Wilke et al., 2003).

Связь между интеллектом и конкретными областями мозга изменяется в процессе развития и взросления человека. Результаты исследования С. Франгоу с коллегами показали, что в подростковом возрасте наблюдаются положительные корреляции между интеллектом и плотностью серого вещества в орбитофронтальной коре, поясной извилине, мозжечке и таламусе и отрицательные корреляции — в хвостатом ядре (Frangou et al., 2004). В работе Р. Хайера с коллегами показано, что у пожилых людей коэффициент интеллекта коррелирует с плотностью серого вещества в лобной, височной, теменной и затылочной коре, что свидетельствует о распределенной нейронной основе интеллекта (Haier et al., 2004).

Возможности улучшения когнитивного функционирования: новые перспективы и взгляд в будущее

Существуют доказательства того, что активная познавательная деятельность, требующая вовлеченности различных когнитивных функций (интеллектуально активная деятельность, головоломки, дискуссионные группы, чтение, использование компьютера, настольные игры, игра на музыкальных инструментах, высшее образование, физические упражнения, садоводство, танцы, социальная активность, путешествия, культурные мероприятия, общение с друзьями и семьей), способствуют предотвращению ухудшения когнитивного функционирования (Fratiglioni et al., 2004; Marioni et al., 2012).

Также в настоящее время показана положительная роль биологической обратной связи (БОС, *neurofeedback*) на улучшение когнитивных функций у пожилых людей (Laborda-Sánchez, Cansino, 2021). В обзоре авторов показано, что БОС улучшала память у здоровых участников и лиц, страдающих клинически-

ми заболеваниями, в основном при тренировке частот тета- и сенсомоторного ритма. Кроме того, БОС способствовала улучшению других когнитивных сфер. При этом БОС не оказала никакого влияния на процессы внимания.

Поскольку существует большая вероятность того, что в ближайшем будущем средняя продолжительность жизни человека значительно увеличится, важно уже сегодня задуматься о сохранении здоровья населения, включая ментальное здоровье и когнитивные функции. Так, всего 100 лет назад средняя продолжительность жизни в США составляла 54 года, тогда как сегодня она составляет почти 79 лет³. В России же в 1896–1897 гг. продолжительность жизни мужчин составляла 29,4 года, а женщин — 31,7 (Население России..., 1998). К 2020 г. по данным Росстата эти показатели составили для мужчин 66,5 лет, а для женщин — 76,4 лет. Раньше люди просто не доживали до того возраста, когда начинают развиваться нейродегенеративные заболевания (Fernández-Ruiz, 2019). В настоящее время рекорд по продолжительности жизни принадлежит француженке Жанне Кальман, дожившей до 122 лет (Robine et al., 2019). Это означает, что у человеческого организма есть соответствующие ресурсы к увеличению продолжительности жизни.

По данным Л. Ферруччи и коллег, глобальная популяция людей старше 65 лет растет беспрецедентными темпами и к 2050 году может достигнуть 1,6 миллиарда человек (Ferrucci et al., 2020). Большинство пожилых людей страдают от множества хронических заболеваний, что приводит к сложному медикаментозному лечению и повышенному риску физической и когнитивной инвалидности. В связи с этим, наиболее актуальные тренды в области здорового долголетия в ближайшем будущем будут связаны с измерением темпов старения и выявлением людей, которые «стареют быстрее». В свою очередь, это позволит не только развить диагностические подходы, но и разработать подходы улучшения когнитивного функционирования или, по крайней мере, сдерживания темпов развития мультиморбидности и инвалидности по мере старения.

На основе данных компьютерного моделирования Р. Терри и Р. Кацман показали, что в случае увеличения продолжительности жизни, к примеру, до 130 лет, даже у когнитивно здоровых людей начнут развиваться нейродегенеративные изменения мозга, что может негативно отразиться на качестве их жизни (Terry, Katzman, 2001). Соответственно, уже сейчас необходимо поднимать вопрос о поиске путей нейропротекции, чтобы увеличение продолжительности жизни не обернулось катастрофой для человечества.

Выводы

Проведенный анализ показал, что когнитивный и биологический возрасты являются комплексными показателями, на которые влияет большое количество средовых и генетических факторов. Единого метода или подхода к измерению когнитивного и биологического возрастов до сих пор не существует. Для измерения биологического возраста все чаще используются методы на основе комплексных индексов, эпигенетические часы, методы на основе деления теломер и метилирования ДНК. Все большую популярность приобретают методы измерения когнитивного возраста на основе динамики когнитивных функций, кото-

³ <https://www.familysearch.org/en/blog/100-years-ago-today-1920>

рые весьма пластичны и могут быть скорректированы. В связи с увеличением продолжительности жизни населения, подробное исследование параметров когнитивного возраста и способов нейропротекции в ближайшие годы станет одним из ключевых исследовательских трендов в области изучения старения.

Литература

- Крутько В.Н., Донцов В.И., Захарьящева О.В., Кузнецов И.А., Мамиконова О.А., Пырву В.В., Смирнова Т.М., Соколова Л.А. Биологический возраст как показатель уровня здоровья, старения и экологического благополучия человека // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2014. Т. 48, № 3. С. 12–19.
- Население России за 100 лет (1897–1997). Статистический сборник / Под ред. Е.М. Андреева, О.И. Антоновой, Б.П. Бруй и др. М.: Госкомстат России, 1998.
- Нуретдинова З.Г. Особенности динамики биологического возраста у спортсменов-лыжников: дисс. ... канд. мед. наук. Москва, 2008.
- Плакуев А.Н., Юрьева М.Ю., Юрьев Ю.Ю. Современные концепции старения и оценка биологического возраста человека // *Экология человека*. 2011. № 4. С. 17–25.
- Прохоров Н.И., Донцов В.И., Крутько В.Н., Ходыкина Т.М. (2019). Биологический возраст как метод оценки уровня здоровья при наличии экологических рисков (обзор литературы) // *Гигиена и санитария*. 2019. Т. 98, № 7. С. 761–765.
- Рябчикова Т.В., Егорова Л.А., Кузьмичева Е.А. Сопоставление паспортного и биологического возраста // *Клиническая геронтология*. 2009. Т. 15, № 12. С. 19–22.
- Фролькис В.В. Старение: воспоминание о будущем // *Лечение и диагностика*. 1998. № 1. С. 14–38.
- Armanious, K., Abdulatif, S., Shi, W., Salian, S., Kustner, T., Weiskopf, D., Hepp, T., Gatidis, S., & Yang, B. (2021). Age-Net: An MRI-Based Iterative Framework for Brain Biological Age Estimation. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 40 (7), 1778–1791. <https://doi.org/10.1109/TMI.2021.3066857>
- AshiqurRahman, S., Giacobbi, P., Pyles, L., Mullett, C., Doretto, G., & Adjeroth, D.A. (2021). Deep learning for biological age estimation. *Briefings in Bioinformatics*, 22 (2), 1767–1781. <https://doi.org/10.1093/bib/bbaa021>
- Cho, I.H., Park, K.S., & Lim, C.J. (2010). An empirical comparative study on biological age estimation algorithms with an application of Work Ability Index (WAI). *Mechanisms of Ageing and Development*, 131 (2), 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2009.12.001>
- Cole, J.H., Marioni, R.E., Harris, S.E., & Deary, I.J. (2019). Brain age and other bodily 'ages': Implications for neuropsychiatry. *Molecular Psychiatry*, 24, 266–281. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0098-1>
- Deary, I.J., Corley, J., Gow, A.J., Harris, S.E., Houlihan, L.M., Marioni, R.E., Penke, L., Rafnson, S.B., & Starr, J.M. (2009). Age-associated cognitive decline. *British Medical Bulletin*, 92, 135–152. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldp033>
- Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H.G., Winkler, J., Buchel, C., May, A. (2006). Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning. *J Neurosci*, 26 (23), 6314–6317.
- Elliott, M.L., Belsky, D.W., Knodt, A.R., Ireland, D., Melzer, T.R., Poulton, R., Ramrakha, S., Caspi, A., Moffitt, T.E., Hariri, A.R. (2019). Brain-age in midlife is associated with accelerated biological aging and cognitive decline in a longitudinal birth cohort. *Molecular Psychiatry*, 26, 3829–3838. <https://doi.org/10.1038/s41380-019-0626-7>
- Engvig, A., Fjell, A.M., Westlye, L.T., Moberget, T., Sundseth, O., Larsen, V.A., Walhovd, K.B. (2010). Effects of memory training on cortical thickness in the older adults. *Neuroimage*, 52 (4), 1667–1676.
- Fernández-Ruiz, J. (2019). The biomedical challenge of neurodegenerative disorders: an opportunity for cannabinoid-based therapies to improve on the poor current therapeutic outcomes. *British Journal of Pharmacology*, 176 (10), 1370–1383.

Ferrucci, L., Gonzalez-Freire, M., Fabbri, E., Simonsick, E., Tanaka, T., Moore, Z., Salimi, S., Sierra, F., & Cabo, R. (2020). Measuring biological aging in humans: A quest. *Aging Cell*, 19 (2), e13080. <https://doi.org/10.1111/acel.13080>

Finkel, D., Sternäng, O., & Wahlin, Å. (2017). Genetic and Environmental Influences on Longitudinal Trajectories of Functional Biological Age: Comparisons Across Gender. *Behavior Genetics*, 47, 375–382. <https://doi.org/10.1007/s10519-017-9851-5>

Fjell, A.M., Westlye, L.T., Grydeland, H., Amlien, I., Espeseth, T., Reinvang, I., Raz, N., Dale, A.M., Walhovd, K.B., & for the Alzheimer Disease Neuroimaging Initiative. (2014). Accelerating Cortical Thinning: Unique to Dementia or Universal in Aging? *Cerebral Cortex*, 24 (4), 919–934. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs379>

Frangou, S., Chitins, X., & Williams, S.C. (2004). Mapping IQ and gray matter density in healthy young people. *Neuroimage*, 23 (3), 800–805.

Franke, K., & Gaser, C. (2019). Ten Years of BrainAGE as a Neuroimaging Biomarker of Brain Aging: What Insights Have We Gained? *Frontiers in Neurology*, 10, 789. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00789>

Fratiglioni, L., Paillard-Borg, S., Winblad, B. (2004). An active and socially integrated lifestyle in late life might protect against dementia. *Lancet Neurol.*, 3 (6), 343–353.

Haier, R.J., Jung, R.E., Yeo, R.A., Head, K., & Alkire, M.T. (2004). Structural brain variation and general intelligence. *Neuroimage*, 23 (1), 425–433.

Hanafi, M.S., Soedarsono, N., & Auerkari, E. (2021). Biological age estimation using DNA methylation analysis: A systematic review. *Scientific Dental Journal*, 5 (1), 1–11. https://doi.org/10.4103/SDJ.SDJ_27_20

Harada, C.N., Natelson Love, M.C., & Triebel, K.L. (2013). Normal cognitive aging. *Clinics in Geriatric Medicine*, 29 (4), 737–752. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.002>

Jia, L., Zhang, W., & Chen, X. (2017). Common methods of biological age estimation. *Clinical Interventions in Aging*, 12, 759–772. <https://doi.org/10.2147/CIA.S134921>

Karama, S. et al. (2014). Childhood cognitive ability accounts for associations between cognitive ability and brain cortical thickness in old age. *Molecular Psychiatry*, 19 (5), 555–559. <https://doi.org/10.1038/mp.2013.64>

Karasik, D., Demissie, S., Cupples, L.A., & Kiel, D.P. (2005). Disentangling the Genetic Determinants of Human Aging: Biological Age as an Alternative to the Use of Survival Measures. *The Journals of Gerontology Series A*, 60 (5), 574–587. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.5.574>

Kaup, A.R., Mirzakhani, H., Jeste, D.V., & Eyster, L.T. (2011). A Review of the Brain Structure Correlates of Successful Cognitive Aging. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*, 23 (1), 6–15.

Klemera, P., & Doubal, S. (2006). A new approach to the concept and computation of biological age. *Mechanisms of Ageing and Development*, 127 (3), 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2005.10.004>

Laborda-Sánchez, F., & Cansino, S. (2021). The Effects of Neurofeedback on Aging-Associated Cognitive Decline: A Systematic Review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 46 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10484-020-09497-6>

Leone, A., Caroppo, A., Rescio, G., Diraco, G., & Siciliano, P. (2019). Ambient Assisted Living: Italian Forum 2018. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05921-7>

MacDonald, S.W.S., Dixon, R.A., Cohen, A.-L., & Hazlitt, J.E. (2004). Biological Age and 12-Year Cognitive Change in Older Adults: Findings from the Victoria Longitudinal Study. *Gerontology*, 50 (2), 64–81. <https://doi.org/10.1159/000075557>

Marioni, R.E., van den Hout, A., Valenzuela, M.J. et al. (2012). Active cognitive lifestyle associates with cognitive recovery and a reduced risk of cognitive decline. *J Alzheimers Dis.*, 28 (1), 223–230.

Narr, K.L., Woods, R.P., Thompson, P.M., Szeszkó, P., Robinson, D., Dimtcheva, T., Gurbani, M., Toga, A.W., & Bilder, R.M. (2007). Relationships between IQ and Regional Cortical Gray Matter Thickness in Healthy Adults. *Cerebral Cortex*, 17 (9), 2163–2171. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl125>

Petkovich, D.A., Podolskiy, D.I., Lobanov, A.V., Lee, S.-G., Miller, R.A., & Gladyshev, V.N. (2017). Using DNA Methylation Profiling to Evaluate Biological Age and Longevity Interventions. *Cell Metabolism*, 25 (4), 954–960, e6. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.03.016>

Raz, N., Rodrigue, K.M., Head, D. et al. (2004). Differential aging of the medial temporal lobe: a study of a five-year change. *Neurology*, 62 (3), 433–438.

Robine, J.M., Allard, M., Herrmann, F.R., & Jeune, B. (2019). The real facts supporting Jeanne Calment as the oldest ever human. *The Journals of Gerontology: Series A*, 74 (1), S13–S20.

Shaw, P., Greenstein, D., Lerch, J., Clasen, L., Lenroot, R., Gogtay, N., Evans, A., Rapoport, J., & Giedd, J. (2006). Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature*, 440 (7084), 676–679. <https://doi.org/10.1038/nature04513>

Smith, S.M., Elliott, L.T., Alfaro-Almagro, F., McCarthy, P., Nichols, T.E., Douaud, G., Miller, K.L. (2020). Brain aging comprises many modes of structural and functional change with distinct genetic and biophysical associations. *eLife*, 9, e52677. <https://doi.org/10.7554/eLife.52677>

Solovev, I., Shaposhnikov, M., & Moskalev, A. (2020). Multi-omics approaches to human biological age estimation. *Mechanisms of Ageing and Development*, 185, 111192. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2019.111192>

Sowell, E.R. et al. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *J Neurosci*, 24 (38), 8223–8231.

Starnawska, A., Tan, Q., Lenart, A., McGue, M., Mors, O., Børghlum, A.D., Christensen, K., Nyegaard, M., & Christiansen, L. (2017). Blood DNA methylation age is not associated with cognitive functioning in middle-aged monozygotic twins. *Neurobiology of Aging*, 50, 60–63. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2016.10.025>

Terry, R.D., Katzman, R. (2001). Life span and synapses: will there be a primary senile dementia? *Neurobiol Aging*, 22 (3), 347–348.

Vidal-Pineiro, D. et al. (2021). Individual variations in 'brain age' relate to early-life factors more than to longitudinal brain change. *eLife*, 10, e69995. <https://doi.org/10.7554/eLife.69995>

Wilke, M., Sohn, J.H., Byars, A.W., & Holland, S.K. (2003). Bright spots: correlations of gray matter volume with IQ in a normal pediatric population. *Neuroimage*, 20 (1), 202–215.

Weidner, C.I. et al. (2014). Aging of blood can be tracked by DNA methylation changes at just three CpG sites. *Genome biology*, 15 (2), R24.

References

Armanious, K., Abdulatif, S., Shi, W., Salian, S., Kustner, T., Weiskopf, D., Hepp, T., Gatidis, S., & Yang, B. (2021). Age-Net: An MRI-Based Iterative Framework for Brain Biological Age Estimation. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 40 (7), 1778–1791. <https://doi.org/10.1109/TMI.2021.3066857>

Ashiqur Rahman, S., Giacobbi, P., Pyles, L., Mullett, C., Doretto, G., & Adjeroh, D.A. (2021). Deep learning for biological age estimation. *Briefings in Bioinformatics*, 22 (2), 1767–1781. <https://doi.org/10.1093/bib/bbaa021>

Cho, I.H., Park, K.S., & Lim, C.J. (2010). An empirical comparative study on biological age estimation algorithms with an application of Work Ability Index (WAI). *Mechanisms of Ageing and Development*, 131 (2), 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2009.12.001>

Cole, J.H., Marioni, R.E., Harris, S.E., & Deary, I.J. (2019). Brain age and other bodily 'ages': Implications for neuropsychiatry. *Molecular Psychiatry*, 24, 266–281. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0098-1>

Deary, I.J., Corley, J., Gow, A.J., Harris, S.E., Houlihan, L.M., Marioni, R.E., Penke, L., Rafnson, S.B., & Starr, J.M. (2009). Age-associated cognitive decline. *British Medical Bulletin*, 92, 135–152. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldp033>

Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H.G., Winkler, J., Buchel, C., May, A. (2006). Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning. *J Neurosci*, 26 (23), 6314–6317.

Elliott, M.L., Belsky, D.W., Knodt, A.R., Ireland, D., Melzer, T.R., Poulton, R., Ramrakha, S., Caspi, A., Moffitt, T.E., Hariri, A.R. (2019). Brain-age in midlife is associated with accelerated biological aging

and cognitive decline in a longitudinal birth cohort. *Molecular Psychiatry*, 26, 3829–3838. <https://doi.org/10.1038/s41380-019-0626-7>

Engvig, A., Fjell, A.M., Westlye, L.T., Moberget, T., Sundseth, O., Larsen, V.A., Walhovd, K.B. (2010). Effects of memory training on cortical thickness in the older adults. *Neuroimage*, 52 (4), 1667–1676.

Fernández-Ruiz, J. (2019). The biomedical challenge of neurodegenerative disorders: an opportunity for cannabinoid-based therapies to improve on the poor current therapeutic outcomes. *British Journal of Pharmacology*, 176 (10), 1370–1383.

Ferrucci, L., Gonzalez-Freire, M., Fabbri, E., Simonsick, E., Tanaka, T., Moore, Z., Salimi, S., Sierra, F., & Cabo, R. (2020). Measuring biological aging in humans: A quest. *Aging Cell*, 19 (2), e13080. <https://doi.org/10.1111/acel.13080>

Finkel, D., Sternäng, O., & Wahlin, Å. (2017). Genetic and Environmental Influences on Longitudinal Trajectories of Functional Biological Age: Comparisons Across Gender. *Behavior Genetics*, 47, 375–382. <https://doi.org/10.1007/s10519-017-9851-5>

Fjell, A.M., Westlye, L.T., Grydeland, H., Amlie, I., Espeseth, T., Reinvang, I., Raz, N., Dale, A.M., Walhovd, K.B., & for the Alzheimer Disease Neuroimaging Initiative. (2014). Accelerating Cortical Thinning: Unique to Dementia or Universal in Aging? *Cerebral Cortex*, 24 (4), 919–934. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs379>

Frangou, S., Chitins, X., & Williams, S.C. (2004). Mapping IQ and gray matter density in healthy young people. *Neuroimage*, 23 (3), 800–805.

Franke, K., & Gaser, C. (2019). Ten Years of BrainAGE as a Neuroimaging Biomarker of Brain Aging: What Insights Have We Gained? *Frontiers in Neurology*, 10, 789. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00789>

Fratiglioni, L., Paillard-Borg, S., Winblad, B. (2004). An active and socially integrated lifestyle in late life might protect against dementia. *Lancet Neurology*, 3 (6), 343–353.

Frol'kis, V.V. (1998). Aging: a memory of the future. *Lechenie i diagnostika (Treatment and diagnosis)*, 1, 14–38. (In Russ.).

Haier, R.J., Jung, R.E., Yeo, R.A., Head, K., & Alkire, M.T. (2004). Structural brain variation and general intelligence. *Neuroimage*, 23 (1), 425–433.

Hanafi, M.S., Soedarsono, N., & Auerkari, E. (2021). Biological age estimation using DNA methylation analysis: A systematic review. *Scientific Dental Journal*, 5 (1), 1–11. https://doi.org/10.4103/SDJ.SDJ_27_20

Harada, C.N., Natelson Love, M.C., & Triebel, K.L. (2013). Normal cognitive aging. *Clinics in Geriatric Medicine*, 29 (4), 737–752. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.002>

Jia, L., Zhang, W., & Chen, X. (2017). Common methods of biological age estimation. *Clinical Interventions in Aging*, 12, 759–772. <https://doi.org/10.2147/CIA.S134921>

Karama, S. et al. (2014). Childhood cognitive ability accounts for associations between cognitive ability and brain cortical thickness in old age. *Molecular Psychiatry*, 19 (5), 555–559. <https://doi.org/10.1038/mp.2013.64>

Karasik, D., Demissie, S., Cupples, L.A., & Kiel, D.P. (2005). Disentangling the Genetic Determinants of Human Aging: Biological Age as an Alternative to the Use of Survival Measures. *The Journals of Gerontology Series A*, 60 (5), 574–587. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.5.574>

Kaup, A.R., Mirzakhani, H., Jeste, D.V., & Eyster, L.T. (2011). A Review of the Brain Structure Correlates of Successful Cognitive Aging. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*, 23 (1), 6–15.

Klemera, P., & Doubal, S. (2006). A new approach to the concept and computation of biological age. *Mechanisms of Ageing and Development*, 127 (3), 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2005.10.004>

Krut'ko, V.N., Doncov, V.I., Zahar'yashcheva, O.V., Kuznecov, I.A., Mamikonova, O.A., Pyrvu, V.V., Smirnova, T.M., Sokolova, L.A. (2014). Biological age as an indicator of the level of health, aging and environmental well-being of a person. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya medicina (Aerospace and environmental medicine)*, 48 (3), 12–19. (In Russ.).

Laborda-Sánchez, F., & Cansino, S. (2021). The Effects of Neurofeedback on Aging-Associated Cognitive Decline: A Systematic Review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 46 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10484-020-09497-6>

Leone, A., Caroppo, A., Rescio, G., Diraco, G., & Siciliano, P. (2019). Ambient Assisted Living: Italian Forum 2018. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05921-7>

MacDonald, S.W.S., Dixon, R.A., Cohen, A.-L., & Hazlitt, J.E. (2004). Biological Age and 12-Year Cognitive Change in Older Adults: Findings from the Victoria Longitudinal Study. *Gerontology*, 50 (2), 64–81. <https://doi.org/10.1159/000075557>

Marioni, R.E., van den Hout, A., Valenzuela, M.J. et al. (2012). Active cognitive lifestyle associates with cognitive recovery and a reduced risk of cognitive decline. *J Alzheimers Dis.*, 28 (1), 223–230.

Narr, K.L., Woods, R.P., Thompson, P.M., Szeszkó, P., Robinson, D., Dimtcheva, T., Gurbani, M., Toga, A.W., & Bilder, R.M. (2007). Relationships between IQ and Regional Cortical Gray Matter Thickness in Healthy Adults. *Cerebral Cortex*, 17 (9), 2163–2171. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl125>

Nuretdinova, Z.G. (2008). Osobennosti dinamiki biologicheskogo vozrasta u sportsmenov-lyzhnikov: Diss. ... kand. med. nauk. (Features of the dynamics of biological age in athletes-skiers: dissertation). Ph.D. (Medicine). Moscow. (In Russ.).

Petkovich, D.A., Podolskiy, D.I., Lobanov, A.V., Lee, S.-G., Miller, R.A., & Gladyshev, V.N. (2017). Using DNA Methylation Profiling to Evaluate Biological Age and Longevity Interventions. *Cell Metabolism*, 25 (4), 954–960, e6. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.03.016>

Plakuev, A.N., Yur'eva, M.Yu., Yur'ev, Yu.Yu. (2011). Modern concepts of aging and assessment of human biological age. *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*, 4, 17–25. (In Russ.).

Population of Russia for 100 years (1897–1997). (1998). In E.M. Andreev, O.I. Antonova, B.P. Bruj et al. (Eds.), *Statistical compendium*. M.: Goskomstat Rossii. (In Russ.).

Prokhorov, N.I., Doncov, V.I., Krut'ko, V.N., Khodykina, T.M. (2019). Biological age as a method for assessing the level of health in the presence of environmental risks (literature review). *Gigiena i sanitariya (Hygiene and sanitation)*, 98 (7), 761–765. (In Russ.).

Raz, N., Rodrigue, K.M., Head, D. et al. (2004). Differential aging of the medial temporal lobe: a study of a five-year change. *Neurology*, 62 (3), 433–438.

Robine, J.M., Allard, M., Herrmann, F.R., & Jeune, B. (2019). The real facts supporting Jeanne Calment as the oldest ever human. *The Journals of Gerontology: Series A*, 74 (1), S13–S20.

Ryabchikova, T.V., Egorova, L.A., Kuz'micheva, E.A. (2009). Comparison of passport and biological age. *Klinicheskaya gerontologiya (Clinical gerontology)*, 15 (12), 19–22. (In Russ.).

Shaw, P., Greenstein, D., Lerch, J., Clasen, L., Lenroot, R., Gogtay, N., Evans, A., Rapoport, J., & Giedd, J. (2006). Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature*, 440 (7084), 676–679. <https://doi.org/10.1038/nature04513>

Smith, S.M., Elliott, L.T., Alfaro-Almagro, F., McCarthy, P., Nichols, T.E., Douaud, G., Miller, K.L. (2020). Brain aging comprises many modes of structural and functional change with distinct genetic and biophysical associations. *eLife*, 9, e52677. <https://doi.org/10.7554/eLife.52677>

Solovev, I., Shaposhnikov, M., & Moskalev, A. (2020). Multi-omics approaches to human biological age estimation. *Mechanisms of Ageing and Development*, 185, 111192. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2019.111192>

Sowell, E.R. et al. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *J Neurosci*, 24 (38), 8223–8231.

Starnawska, A., Tan, Q., Lenart, A., McGue, M., Mors, O., Børghlum, A.D., Christensen, K., Nyegaard, M., & Christiansen, L. (2017). Blood DNA methylation age is not associated with cognitive functioning in middle-aged monozygotic twins. *Neurobiology of Aging*, 50, 60–63. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2016.10.025>

Terry, R.D., Katzman, R. (2001). Life span and synapses: will there be a primary senile dementia? *Neurobiol Aging*, 22 (3), 347–348.

Vidal-Pineiro, D. et al. (2021). Individual variations in 'brain age' relate to early-life factors more than to longitudinal brain change. *eLife*, 10, e69995. <https://doi.org/10.7554/eLife.69995>

Wilke, M., Sohn, J.H., Byars, A.W., & Holland, S.K. (2003). Bright spots: correlations of gray matter volume with IQ in a normal pediatric population. *Neuroimage*, 20 (1), 202–215.

Weidner, C.I. et al. (2014). Aging of blood can be tracked by DNA methylation changes at just three CpG sites. *Genome biology*, 15 (2), R24.

Статья получена 18.10.2022;
принята 29.10.2022;
отредактирована 14.11.2022.

Received 18.10.2022;
accepted 29.10.2022;
revised 14.11.2022.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Поликанова Ирина Сергеевна — кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Психология профессий и конфликта» факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова; научный сотрудник лаборатории исследований молекулярных механизмов долголетия факультета биологии и биотехнологии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

Балан Полина Владиславовна — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории исследования молекулярных механизмов долголетия факультета биологии и биотехнологии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Polina.balan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8205-8414>

Мартынова Ольга Владимировна — кандидат биологических наук, доцент факультета биологии и биотехнологии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»; заместитель директора Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, omartynova@hse.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>

ABOUT AUTHORS

Irina S. Polikanova — PhD in Psychology, Senior Researcher, Department of Psychology of Professions and Conflicts, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University; Researcher, the Laboratory of Molecular Mechanisms of Longevity Research, the Department of Biology and Biotechnology, National Research University “Higher School of Economics”, irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

Polina V. Balan — PhD in Physiology, Researcher, Department of Molecular Mechanisms of Longevity Research, Faculty of Biology and Biotechnology, National Research University “Higher School of Economics”, Polina.balan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8205-8414>

Olga V. Martynova — PhD in Psychology, Associate Professor, Faculty of Biology and Biotechnology, National Research University “Higher School of Economics”; Deputy Director, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences, omartynova@hse.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>