

УДК 159.91

РОЛЬ БИЛИНГВИЗМА В ФОРМИРОВАНИИ НЕЙРОКОГНИТИВНОГО РЕЗЕРВА

© 2022 г. А. С. Малышевская^{1, 2, *}, Ф. Галло^{1, 3}, А. А. Ефремов¹,
А. В. Мячиков^{1, 4}, Ю. Ю. Штыров^{1, 5}

¹Институт когнитивных нейронаук, Национальный исследовательский институт
“Высшая школа экономики”, Москва, Россия

²Потсдамский Университет, г. Потсдам, Германия

³Университет Вита-Салуте Сан-Рафаэле, г. Милан, Италия

⁴Нортумбрийский университет, г. Ньюкасл-апон-Тайн, Великобритания

⁵Орхусский университет, г. Орхус, Дания

*e-mail: malyshevskaya.ru@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.03.2022 г.

После доработки 25.04.2022 г.

Принята к публикации 26.04.2022 г.

Развитие науки, общества и медицины ведет за собой неуклонный рост средней продолжительности жизни. В результате наука сталкивается с новыми задачами, в число которых входит предотвращение деменции и поддержание эффективной работоспособности мозга при старении человека. Одним из защитных факторов, предотвращающих ослабление когнитивных функций и поддерживающих нейропластичность мозга, является билингвизм. Однако дебаты насчет нейропротекторных свойств двуязычия до сих пор являются актуальными. В данной статье рассмотрен феномен нейрокогнитивного резерва (НКР) и определена взаимосвязь между билингвизмом и такими составляющими НКР, как мозговой резерв, нейрональный резерв и нейрональная компенсация. Кроме этого, в статье приведен обзор исследований, посвященных изучению нейронных и когнитивных механизмов влияния билингвизма на здоровое функционирование мозга при старении. В заключении мы вкратце остановились на том, каким образом двуязычие может защищать мозг от старения благодаря взаимодействию между мозговыми и когнитивными составляющими НКР.

Ключевые слова: билингвизм, нейрокогнитивный резерв, нейрональная компенсация, нейропластичность, старение

DOI: 10.31857/S0044467722050094

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в мире наблюдается неуклонный рост средней продолжительности жизни, и этот показатель, по всей видимости, продолжит свой рост в ближайшем будущем (Kontis et al., 2017; Raftery et al., 2013). Увеличение продолжительности жизни — результат совместного развития общества, науки и медицины. Однако изменившиеся возрастные нормы ставят перед современным миром необходимость решения новых задач, одна из которых — избавление долгожителей от неблагоприятных возрастных последствий, включающих повышенные риски нарушения когнитивных функций и деменцию,

которые в настоящее время составляют две основные причины снижения качества жизни пожилых людей (см. обзор (Shearer et al., 2012)). Наряду со значительным снижением качества жизни, рост случаев деменции приводит к увеличению спроса на ресурсы здравоохранения, который, по прогнозам экспертов, будет лишь увеличиваться, создавая дополнительное давление на правительства развитых стран (Livingston et al., 2017; Prince et al., 2016; Wimo et al., 2017; Winblad et al., 2016). Так, доля пожилых людей (от 65 лет и старше) в США составляет около 15% от общей численности населения, при этом траты на их медицинское обслуживание оцениваются в 34% от

общих расходов на здравоохранение (Mitchell, 2016). На аналогичную долю пожилых граждан в Канаде приходится еще больше расходов на здравоохранение — 45% (*National Health Expenditure Trends, 1975 to 2014*, 2014). Исследование, проведенное при поддержке Американского национального института здоровья (Hurd et al., 2013), оценило расходы США на деменцию в 2010 году в 215 миллиардов долларов, что отражает высокую потребность стареющего населения в уходе и лечении.

Вышеизложенные факты, в сочетании с отсутствием эффективного фармакологического лечения деменции, определяют центральную проблему современного общества — поиск условий, смягчающих процесс ухудшения когнитивных функций, в частности выявление факторов, препятствующих развитию старческих болезней. В данной статье под препятствующими факторами подразумеваются: 1) методы, которые могут способствовать сокращению расходов на здравоохранение и в которых нуждаются правительства развитых стран; и 2) факторы, требующие постепенного внедрения в жизнь человека на ранних этапах с целью создания “пожизненной защиты” от ослабления когнитивных функций в результате старения. В последние годы учеными был открыт целый ряд подобных защитных факторов, включая как уровень занятости и наличие высшего образования, так и интеллектуальные или физически активные виды досуга (Cheng, 2016; Clare et al., 2017; Rouillard et al., 2017; Wang et al., 2017).

Недавно введенная концепция нейрокогнитивного резерва (англ. “reserve”) (Yaakov Stern, 2009) объединяет вышеупомянутые факторы в единое целое и объясняет индивидуальные различия в темпах ослабления когнитивных функций. Нейрокогнитивный резерв (НКР) определяется как несоответствие между тяжестью повреждения мозга (или его возрастной деградации) и степенью возникших в результате этого повреждения когнитивных нарушений (Stern, 2009). НКР может действовать как механизм защиты от ослабления когнитивных функций и их компенсации — именно он позволяет стареющим людям лучше справляться с возрастными когнитивными нарушениями (Bartrés-Faz, Arenaza-Urquijo, 2011; Steffener et al., 2011; Stern, 2009). Таким образом, упомянутые выше защитные факторы могут способствовать “успешному старению”, обеспечивая наличие у индивида когнитивного и

нейронного потенциала. Для исчерпывающего обзора концепции НКР мы отсылаем читателя к работам Якова Стерна (Stern, 2009, 2013), тогда как данная статья будет сфокусирована на *билингвизме* — одном из ключевых защитных факторов возрастных когнитивных нарушений. Мы рассмотрим современную научную литературу по теме билингвизма и приведем доказательства того, что двуязычие является коррелятом успешного поддержания НКР и, следовательно, значимым фактором “здорового старения”.

БИЛИНГВИЗМ КАК ЗАЩИТНЫЙ ФАКТОР ПРИ ЗДОРОВОМ СТАРЕНИИ И ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что изучение второго языка способствует успешному поддержанию работоспособности мозга на когнитивном и нейронном уровнях при старении человека (Abutalebi et al., 2015; Bialystok et al., 2004, 2016; Del Maschio et al., 2018; Gold et al., 2013). Первые указания на роль билингвизма как фактора, предотвращающего ослабление когнитивных функций, содержатся в исследованиях взаимосвязи использования нескольких языков и улучшения исполнительного контроля (ИК) в течение жизни индивида (см. обзор (Bialystok, 2017)), хотя дебаты относительно данного преимущества многоязычия всё еще являются актуальными (Antón et al., 2014; Duñabeitia et al., 2014; Gathercole et al., 2014; Paap et al., 2015). Как правило, для изучения влияния билингвизма на исполнительные функции (то же самое, что управляющие функции, см. (Власова, 2019)) исследователи используют вариативные задачи и анализируют различия результатов их выполнения билингвами и монолингвами по таким показателям, как точность ответа и время реакции. Ранние исследования показывают, что в различных возрастных группах билингвы превосходят монолингвов в выполнении подобных задач (см. обзор (Bialystok, 2017)), однако более поздние исследования не выявляют подобного эффекта (Paap et al., 2015).

Подобную противоречивость данных можно объяснить, если четко определить отдельные когнитивные компоненты, которые входят в понятия “исполнительный контроль” и “исполнительные функции” (Costa et al., 2009). Например, Коста и его коллеги

сообщили (Costa et al., 2009) о зависимости проявления эффектов билингвизма от точного процента конгруэнтных и неконгруэнтных испытаний в эксперименте. Ученые обнаружили эффекты билингвизма в эксперименте, содержащем испытания со смешанной конгруэнтностью (по 50% конгруэнтных и неконгруэнтных испытаний), и не обнаружили их в эксперименте, содержащем преимущественно испытания одного типа (>90%). Эта знаковая работа указала на важность понимания ИК с точки зрения требований задачи, выявив связь между конкретным его проявлением и когнитивным мониторингом. Альтернативное объяснение несоответствия результатов исследований предполагает, что в цифровую эпоху молодое поколение сталкивается с множеством действий, требующих когнитивных усилий, что неизбежно приводит к усилению ИК. Это значит, что у более молодых участников исследований потенциальные эффекты билингвизма могут оставаться незамеченными на фоне более эффективной работы исполнительных функций. Люди пожилого возраста, напротив, не сталкиваются с таким количеством сложных когнитивных действий, поэтому влияние билингвизма на их когнитивные способности может быть выражено сильнее (Virginia, 2015). Важно отметить, что последнее верно только в том случае, если второй язык по-прежнему присутствует в жизни билингва и тот активно им пользуется (Abutalebi et al., 2015).

Несмотря на отсутствие единой точки зрения насчет влияния билингвизма на усиление ИК у молодых участников, исследования билингвизма на основе пожилых участников практически не вызывают спорных дискуссий. К настоящему моменту накоплен достаточный объем свидетельств того, что билингвы старшего возраста в самом деле лучше сохраняют когнитивную эффективность, превосходя своих сверстников-монолингвов по ряду различных когнитивных параметров, в число которых входят не только задачи на ИК (Abutalebi et al., 2015; Bialystok et al., 2004, 2008, 2014; Del Maschio et al., 2018; Estanga et al., 2017; Gold et al., 2013; Incera, 2018; López Zunini et al., 2019; Rosselli et al., 2019), но и связанные с исполнительными функциями задачи на воспроизведение по памяти (Ljungberg et al., 2013; Rosselli et al., 2019; Wodniecka et al., 2010), а также задачи на семантическую память (Arce Rentería et al., 2019) и общий ин-

теллект (Bak et al., 2014). Эти результаты приводятся в качестве доказательств того, что билингвизм может способствовать формированию НКР (Bialystok et al., 2016; Perani, Abutalebi, 2015).

Если билингвизм действительно способствует формированию НКР у здоровых стареющих людей, то его влияние, вероятно, должно наиболее явно наблюдаться у участников с более быстрым снижением работоспособности когнитивных функций — например, у участников с диагностированной деменцией. Знаковая работа Белостока и его коллег (Bialystok et al., 2007) продемонстрировала поразительную отсрочку начала деменции на 4 года у билингвов по сравнению с их сверстниками-монолингвами, сопоставимыми по полу, уровню образования и социально-экономическому статусу — всем тем факторам, которые сами по себе уже составляют основу НКР. Несмотря на успешную репликацию данного эксперимента (Craik et al., 2010), результаты последующих исследований привели к дискуссии о том, что порожденные билингвизмом защитные эффекты могут проявляться только у билингвов с низким уровнем образования (Gollan et al., 2011) или же у иммигрантов (Chertkow et al., 2010). Можно было бы предположить, что в действительности к развитию НКР билингвов приводит наличие связанных с миграцией когнитивных задач: изучение второго языка (L2) в более позднем возрасте, проживание в среде с доминированием L2, а также столкновение с рядом других когнитивных, культурных и экономических перемен в жизни. Кроме того, иммиграционный статус может сам по себе выступать в качестве значимого фактора, так как различия в образе жизни, диете, этническом происхождении, образовании и отношении к здоровью могут отличаться между популяциями неиммигрантов-монолингвов и иммигрантов-билингвов. В таком случае различия в возрасте начала деменции на самом деле могут возникать не из-за влияния билингвизма, а из-за различий в этих и других дополнительных переменных.

Важный вклад в эту дискуссию внесло исследование, проведенное в Индии на выборке из 648 человек (Alladi et al., 2013). Как и в работе Белостока, опубликованные авторами данные свидетельствуют о 4–5-летней отсрочке появления симптомов деменции у билингвов по сравнению с монолингвами. В исследовании был проведен дополнительный анализ неграмотных участников для учета

фактора уровня образования. Анализ показал еще большую отсрочку начала деменции у билингвов (6 лет), что подтверждает предположение о более сильном положительном влиянии билингвизма и для людей с низким уровнем образования. Еще одним подтверждением послужило проведенное в Бельгии исследование (Woumans et al., 2015), в котором сравнивали группы билингвов и монолингвов с болезнью Альцгеймера (БА), усредненные по полу, образованию, сложности профессии и тяжести когнитивных нарушений. По результатам исследования клинические проявления БА у пациентов-билингвов были отсрочены на 4.6 года. Влияние билингвизма на задержку начала БА подтверждается и в более поздних исследованиях. Жэнг и другие ученые (Zheng et al., 2018) сообщили о том, что у билингвов, говорящих на кантонском и мандаринском наречиях китайского языка, БА развивается на 7 лет позже, чем у монолингвов, говорящих только на одном из наречий. Мендес и соавт. (Mendez et al., 2020) также опубликовали свидетельства о 4-летней задержке в развитии БА среди билингвов с различными L1 и английским в качестве L2. Перкен и соавт. (Perquin et al., 2013) обследовали 232 пожилых мультилингва в Люксембурге, которые были либо здоровыми, либо страдали умеренными когнитивными нарушениями (УКН). Ретроспективный анализ показал, что заболеваемость УКН обратно коррелировала с количеством языков, на которых говорили участники. Эти результаты были воспроизведены в исследовании Вилсона и соавт. (Wilson et al., 2015), которые наблюдали когорту из 964 человек на протяжении 6 лет, отслеживая заболеваемость УКН с течением времени. У билингвов УКН развивались в значительно меньшей степени, чем у монолингвов. Ретроспективное исследование, проведенное в Индии на когорте из 115 человек с УКН, также показало отсроченное у билингвов на 7.4 года развитие УКН (Ramakrishnan et al., 2017). Наконец, есть данные, свидетельствующие о том, что связанное с болезнью Паркинсона снижение когнитивных функций происходит у билингвов на 3 года позже, чем у их одноязычных сверстников (Saidi, 2019).

Несмотря на растущее число подтверждений того, что билингвизм может способствовать развитию НКР при здоровом и патологическом старении, точные когнитивные и нейронные механизмы, лежащие в основе

этого явления, все еще неясны: ученые относительно мало знают о том, *как* формируется НКР и каковы особенности лежащих в его основе когнитивных и нейрональных механизмов. Абуталеби и Грин (Abutalebi, Green, 2016) высказали предположение о том, что одним из ключевых факторов развития НКР может являться увеличенная когнитивная нагрузка, с которой билингвы сталкиваются в повседневной жизни, так как, в отличие от своих одноязычных сверстников, они должны постоянно контролировать использование двух языков и предотвращать их интерференцию (Green, 1998). Для этого билингвы используют систему языкового контроля — механизм, с помощью которого подавляется использование ненужного в данный момент языка и происходит активация того, который необходимо использовать. На уровне нейронной системы языкового контроля тесно связана с более общей сетью ИК (Abutalebi, Green, 2007). Процесс контроля неизбежно требует большей включенности ресурсов, поэтому билингвы обычно медленнее справляются с задачами на наименование картинок и с другими лингвистическими заданиями (Ivanova, Costa, 2008). Следуя этой логике, благодаря регулярному использованию системы языкового контроля у билингвов развиваются те нейронные структуры, которые влияют на систему ИК либо путем увеличения объема серого и/или белого вещества исполнительной сети, либо путем создания более эффективных связей. Это, в свою очередь, может компенсировать ухудшения в функционировании мозга, наблюдаемые при нейродегенеративных расстройствах. За языковой контроль у билингвов отвечает сеть, включающая кору и подкорковые области мозга, в значительной степени пересекающиеся с общей сетью исполнительного контроля. В их число входит передняя поясная кора (ППК), префронтальная кора (ПФК), хвостатое ядро и нижняя теменная доля (НТД) обоих полушарий, а также мозжечок (Green, Abutalebi, 2013). Каждая из этих зон играет свою роль в контроле использования нескольких языков (Calabria et al., 2018).

Альтернативным объяснением, которое напрямую не связано с сетью ИК, служит тот факт, что билингвы, в отличие от монолингвов, являются носителями двух лексических систем, связанных с в некоторой степени общей семантической системой (Kroll, Stewart, 1994). Таким образом, еще одним источни-

ком НКР у билингвов может считаться обучение L2 как таковое. Билингвы усваивают новые слова L2, формируя новые связи с существующим словарным запасом L1 и общими семантическими знаниями (Kroll, Stewart, 1994). Этот процесс обучения может потенциально приводить к изменениям в нейронном субстрате, что находит подтверждение в некоторых исследованиях (Abutalebi et al., 2014; Grogan et al., 2012; Mechelli et al., 2004; Olsen et al., 2015). В то же время области, отвечающие за хранение лексических и семантических знаний (например, височные доли), сильно страдают как при здоровом, так и при патологическом старении, отражая явные признаки нейродегенерации (Fjell et al., 2009).

Благодаря интенсивным нейропластичным изменениям, вызванным формированием и усилением лексико-семантических связей, необходимых для кодирования элементов в нескольких лексических системах, эти области потенциально могут более эффективно противостоять деградации. Примером (см. ниже для более подробного обсуждения) может являться передняя височная доля (ПВД) — область, предположительно отвечающая за хранение модально-неспецифичных концептуальных свойств объектов (Lambon Ralph et al., 2008). Эта область, как известно, подвержена сильной нейродегенерации при БА (Fjell et al., 2009) и лобно-височной деменции (ЛВД, также известная как семантическая деменция, СД (Mummery et al., 2000)). Сниженная атрофия головного мозга в этой области была продемонстрирована у пожилых билингвов (Abutalebi et al., 2014), которые, по-видимому, имеют более высокий объем серого вещества (ОСВ) в левой передней височной коре, чем их одноязычные сверстники. Еще одним подтверждением роли изучения новой лексики в стимулировании нейропластичных изменений является положительная корреляция показателя ОСВ с баллами, получаемыми билингвами при прохождении задачи наименования объектов на приобретенном языке (Abutalebi et al., 2014).

МОЗГОВОЙ РЕЗЕРВ, НЕЙРОНАЛЬНЫЙ РЕЗЕРВ И НЕЙРОНАЛЬНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ

Признавая способность билингвизма обеспечивать защиту от возрастных когнитивных нарушений путем формирования НКР, мы переходим к идее о возможности

определения его прямого влияния на нервную систему и ее функционирование. В данном разделе будут рассмотрены следующие механизмы, предложенные для описания структурных и функциональных основ феномена НКР: мозговой резерв (МР) и когнитивный резерв (КР).

МР определяется как устойчивость индивида к ухудшению состояния мозговой ткани, связанному со здоровым или патологическим старением мозга. МР может быть результатом совместного действия различных факторов: как биологических (например, размер мозга или количество нейронов и синапсов), так и средовых (например, нейропластичные структурные изменения, вызванные жизненным опытом). Таким образом, МР может действовать как пассивный буфер, использующийся против ослабления когнитивных функций, и поэтому часто включается в так называемые “модели пассивного резерва” (Katzman, 1993; Stern, 2009).

Когнитивный резерв, напротив, может рассматриваться как активный механизм компенсации здорового и патологического возрастного ослабления когнитивных функций. Существует два отдельных, но взаимосвязанных механизма, позволяющих бороться с возрастными когнитивными нарушениями: нейрональный резерв и нейрональная компенсация. Нейрональная компенсация (НК) определяется как способность разрабатывать новые подходы к решению задачи при деградации нервного субстрата путем использования нейронных ресурсов и когнитивных стратегий, альтернативных тем, которые обычно используются здоровыми людьми (Steffener et al., 2011; Stern, 2009). Нейрональный резерв (НР), выступающий ключевым фактором нейропротекции, определяется как степень гибкости, емкости и эффективности нервных сетей человека (Bartés-Faz, Arenaza-Urquijo, 2011; Steffener et al., 2011; Stern, 2009). Людям с более эффективными сетями мозга необходимо меньше усилий, чтобы справиться с возрастающими требованиями решения задач: при одинаковом увеличении сложности задач им необходимо задействовать меньше нейронных ресурсов для достижения оптимальных результатов, чем контрольной группе (Steffener et al., 2011). Таким образом, в случае дальнейшего повышения когнитивной нагрузки при выполнении задач у этих участников остается больше ресурсов и, следовательно, они в большей

степени способны противостоять патологии мозга и возрастному ослаблению когнитивных функций. Далее в этом разделе мы детально рассмотрим каждый из трех ключевых компонентов НКР.

Первый рассматриваемый нами компонент НКР — мозговой резерв. При посредничестве накопленного опыта развитие МР начинается задолго до начала старения человека. Современные исследования подтверждают роль билингвизма в развитии МР как для молодых людей, так и для людей старшего возраста. Так, несколько исследований выявили различия между билингвами и монолингвами в плотности серого и белого веществ в областях, связанных с языковым/исполнительным контролем и лексико-семантической обработкой (Bialystok et al., 2016; Perani, Abutalebi, 2015). Эти исследования согласуются с вышеупомянутыми механизмами, лежащими в основе языковой обработки у билингвов: в отличие от таковой у монолингвов, она зависит от процессов когнитивного контроля и в большей степени задействует лексико-семантические пути.

Рассматривая исследования, посвященные изучению серого вещества у людей молодого возраста, следует выделить работу первопроходцев в этой области, Мечелли и его коллег (Mechelli et al., 2004), которые выявили значительное увеличение ОСВ в левой НТД у билингвов. Более того, авторы отметили, что увеличение ОСВ положительно коррелировало с размером словарного запаса L2 и отрицательно — с возрастом усвоения L2. Последующие исследования подтвердили полученные результаты для НТД (Del Maschio et al., 2018; Della Rosa et al., 2013; Heim et al., 2019; Olulade et al., 2016), а также выявили увеличение ОСВ у молодых билингвов в ряде других областей мозга, включая ППК (Abutalebi et al., 2012; Del Maschio et al., 2018), мозжечок (Filippi et al., 2011; Pliatsikas et al., 2014), дорсолатеральную ПФК (Del Maschio et al., 2018; Olulade et al., 2016; Stein et al., 2012) и извилины Гешля (Ressel et al., 2012). Благодаря последующим исследованиям было также доказано влияние билингвизма на структуру подкорковых областей, являющихся частью сети языкового/исполнительного контроля. Так, увеличение ОСВ было обнаружено в левой (Abutalebi et al., 2013; Pliatsikas et al., 2017) и правой (Pliatsikas et al., 2017) скорлупе, левом хвостатом ядре (Zou et al., 2012), правом таламусе (Pliat-

sikas et al., 2017), а также билатерально в бледном шаре (Pliatsikas et al., 2017).

Свидетельства об увеличении ОСВ у взрослых билингвов были впоследствии приведены и для других возрастных выборок, при этом пожилые билингвы показали двустороннее увеличение объема в НТД (Abutalebi et al., 2015; Del Maschio et al., 2018), ППК (Abutalebi et al., 2015; Del Maschio et al., 2018), ПФК (Del Maschio et al., 2018), ПВД (Abutalebi et al., 2014; Olsen et al., 2015) и орбитофронтальной коре (Abutalebi et al., 2014). Интересным примером является исследование Абуtaleби и соавт. (Abutalebi et al., 2014), в котором у пожилых билингвов было выявлено билатеральное увеличение серого вещества по сравнению с монолингвами того же возраста в височных полюсах и орбитофронтальной коре. Заслуживает внимания также открытие того, что ОСВ левой ПВД — области, связанной с лексическим воспроизведением и семантикой, — положительно связана с высоким уровнем владения L2. Другими словами, билингвы, лучше всего владеющие вторым языком, по видимому, обладают более развитым МР. Олсен и соавт. (Olsen et al., 2015) сообщили о схожих результатах при исследовании толщины коры: подтверждая вывод о том, что процесс обучения L2 сам по себе вызывает нейропластичные изменения в мозге билингвов, авторы обнаружили увеличенную толщину коры в ПВД пожилых билингвов по сравнению с их одноязычными сверстниками. Следует отметить, что височные полюса, наряду с орбитофронтальной корой, известны как зоны коры, которые в первую очередь подвергаются атрофии мозга при непатологическом старении (Kalpouzos et al., 2009). Вызываемые билингвизмом нейропластичные изменения в этих областях позволяют предположить, что использование нескольких языков может отсрочить начало снижения когнитивных функций. Более того, в другом недавнем исследовании (Del Maschio et al., 2018) было проведено сравнение ОСВ в нескольких областях сети языкового контроля между молодыми и пожилыми группами билингвов и монолингвов. Это исследование выявило билатеральное увеличение ОСВ в ППК, ПФК и НТД билингвов. Полученные данные свидетельствуют о том, что билингвизм может способствовать развитию МР в сети ИК в течение всей жизни человека, начиная с ее ранних этапов. Тем не менее нейропротекторные эффекты порожденного би-

лингвизмом МР, по-видимому, не ограничиваются только здоровым старением, но могут также проявляться и при патологиях головного мозга. В самом деле, известно, что снижение ОСВ в НТД связано с УКН (Apostolova et al., 2007; Saykin et al., 2006) и ранними стадиями деменции (McDonald et al., 2009). Таким образом, факты формирования МР в НТД, происходящего в течение жизни билингвов (у детей (Della Rosa et al., 2013), молодых (Del Maschio et al., 2018; Mechelli et al., 2004) и пожилых людей (Abutalebi et al., 2015; Del Maschio et al., 2018)), приобретают еще большую актуальность.

Положительное влияние билингвизма на МР при старении распространяется в том числе и на участки белого вещества. В исследовании, проведенном с использованием диффузионно-тензорной визуализации (ДТВ), Люк и его коллеги (Luk et al., 2011) проанализировали значения фракционной анизотропии (ФА) у пожилых билингвов и монолингвов для выявления различий в белом веществе. В группе билингвов был выявлен более высокий уровень сохранения белого вещества в частях мозолистого тела, простирающихся с двух сторон в верхний продольный пучок, в правый нижний лобно-затылочный пучок и в правый крючковатый пучок. Это доказывает, что билингвизм, по-видимому, обеспечивает защиту тех областей мозга, которые обычно страдают от возрастного ухудшения (Gunning-Dixon et al., 2009; Pfefferbaum et al., 2005). Более того, Олсен и соавт. (Olsen et al., 2015) сообщили о регистрации большего объема белого вещества в лобных долях у пожилых билингвов по сравнению с монолингвами соответствующего возраста. Наконец, Андерсон и соавт. (Anderson et al., 2018) доложили о сохранении более высокой структурной целостности левого верхнего продольного пучка у пожилых билингвов.

В совокупности эти результаты являются доказательством того, что билингвизм может способствовать предотвращению здорового и патологического возрастного снижения работоспособности когнитивных функций, способствуя развитию МР. Как указывалось выше, помимо пассивной защиты, обеспечиваемой МР, положительные эффекты могут быть достигнуты и с помощью двух различных, но взаимосвязанных активных нейронных механизмов, включаемых в понятие КР: НР и НК. Ниже мы рассмотрим данные, свидетельствующие о том, что билингвизм

может способствовать развитию КР обоими способами.

Второй рассматриваемый нами компонент НКР — нейрональный резерв. Как и МР, НР также развивается на протяжении всей жизни. Люк и его коллеги (Luk et al., 2010) исследовали молодых билингвов и монолингвов, используя модифицированную версию фланговой задачи Эриксона с добавлением конгруэнтным и неконгруэнтным испытаниям условия NoGo (при котором участники никак не реагировали на предъявление стимулов) для разделения подавления интерферирующих реакций (как, например, в стандартных неконгруэнтных испытаниях фланговой задачи) и общего сдерживания любой поведенческой реакции. Анализ показал активацию у билингвов диффузной сети, включающую билатеральные области нижней лобной и височной коры и подкорковые области, как в неконгруэнтных (подавление интерференций), так и в NoGo (торможение ответа) испытаниях, в то время как у монолингвов — только в NoGo-испытаниях. Основываясь на этих результатах, авторы пришли к двум важным выводам: 1) билингвизм ведет к дифференцированным паттернам нейронной активации в условиях обработки конфликтующей информации; 2) активация общей сети для торможения ответа и подавления интерференций может быть интерпретирована как признак повышенной эффективности исполнительного контроля у билингвов. На первый взгляд, выявленная в ходе исследования активация более общей сети может показаться идентификатором не повышенной, а пониженной нейронной эффективности. Однако стоит обратить внимание на картину в целом: в то время как у монолингвов наблюдалась активация второй, дифференцированной сети, у билингвов (в силу натренированности выполнять подобные действия) активировались области, отвечающие за общую систему контроля внимания. Таким образом, билингвы были способны обработать оба вида испытаний с помощью общей сети.

В другом исследовании Абуталеби и соавт. (Abutalebi et al., 2012), используя фланговую задачу на испытуемых среднего возраста, обнаружили меньшую активацию ППК при выполнении заданий у билингвов по сравнению с монолингвами, хотя при этом первые превосходили вторых по результатам выполнения задания. Полученные данные свидетельствуют об эффективном использовании этой

структуры для оптимизации поведенческих показателей. Исследование с двумя сериями фланговой задачи подтвердило повышенную гибкость ППК у билингвов: эффект поведенческого конфликта был меньше во время второй серии испытаний для билингвов, чего не наблюдалось у монолингвов. Этот паттерн наблюдается и на примере фМРТ-данных: снижаясь уже в первой сессии, активация ППК у билингвов значимо ослабляется во второй части эксперимента, в то время как у монолингвов подобного эффекта не наблюдается. Более эффективное использование ППК у билингвов по сравнению с монолингвами было подтверждено и на примере задачи “стоп-сигнал” (stop signal task, SST) (Rodríguez-Pujadas et al., 2014).

Перед тем как перейти к обсуждению влияния билингвизма на НР у пожилых билингвов, мы кратко рассмотрим исследование билингвизма у детей. Используя задачи Саймона и Струпа, Мохадес и соавт. (Mohades et al., 2014) провели исследование на детях, разделенных на группы синхронных билингвов, поочередных ранних билингвов и монолингвов. Повышенная активация в ППК была обнаружена у обеих экспериментальных групп по сравнению с монолингвами на примере задачи Струпа в сочетании конгруэнтных и неконгруэнтных испытаний. Идентичный результат был получен на примере задачи Саймона: активация была обнаружена в левой верхней височной извилине, двусторонней задней поясной извилине, правой средней лобной извилине, а также в правом хвостом ядре. Тем не менее более позднее исследование, использующее задание Саймона на пожилых билингвах (Ansaldi et al., 2015), показало активацию у билингвов левой нижней теменной доли (ЛНТД) во время прохождения неконгруэнтных испытаний, в то время как у монолингвов — правой средней лобной извилины. В данном исследовании монолингвы полагались на стандартную область контроля ингибирования в лобной доле, которая, как известно, особенно подвержена возрастным нарушениям, тогда как у пожилых билингвов наблюдалась активация областей мозга, обычно не связанных с контролем ингибирования. Такой паттерн был интерпретирован авторами как признак повышенного НР, свидетельствующий о высокоэффективном ИК, развиваемом билингва-

ми на протяжении всей жизни. Этот жизненный опыт позволил билингвам оптимально пройти задачи без активации общей сети, описанной у не имеющих богатого жизненного опыта билингвов-детей в исследовании Мохадеса и соавт. Это объяснение подтверждается тем фактом, что у пожилых монолингвов, которым не хватает подобного опыта в решении конфликтных задач, наблюдается активация части той же сети, которую Мохадес с соавт. нашли у детей. В исследовании с задачей на невербальное переключение Голд и соавт. (Gold et al., 2013) сообщили об уменьшении когнитивных затрат на переключение (активация мозга в испытаниях с переключением сравнивалась с таковой в испытаниях без переключения) у пожилых билингвов в сравнении с их сверстниками-монолингвами в левой ДЛПФК, ВЛПФК и ППК.

Наконец, проведенные исследования доказывают, что билингвизм влияет и на функциональную коннективность нейронных сетей у пожилых людей. Одно из исследований функциональной коннективности в состоянии покоя (Grady et al., 2015) показало, что пожилые билингвы сохраняют более сильную функциональную коннективность в префронтальной сети ИК, чем их сверстники-монолингвы. В недавнем исследовании с использованием магнитоэнцефалографии (МЭГ) (de Frutos-Lucas et al., 2020) также был выявлен более высокий уровень функциональной коннективности у билингвов в состоянии покоя в пяти затылочно-теменных скоплениях (чья функциональная коннективность, как известно, особенно нарушается при БА (Nakamura et al., 2017; Yu et al., 2017)).

Перечисленные результаты исследований свидетельствуют о том, что билингвизм может способствовать формированию НР за счет повышения эффективности и гибкости сети ИК. Такие улучшения, в свою очередь, приводят к защите когнитивных функций от ослабления при здоровом и патологическом старении.

Третий компонент НКР — нейрональная компенсация. Как упоминалось выше, пациент с высоким уровнем НК способен сохранять практически нормальное когнитивное функционирование даже на фоне атрофии мозга и нейродеградации. На сегодняшний день накоплено достаточное количество ис-

следований, доказывающих данное утверждение. Как правило, в них задействуются методы нейровизуализации, а различия в НК изучаются путем сравнения целостности нейронного субстрата между группами билингвов и монолингвов, отобранных по схожим признакам поражения когнитивных функций и тяжести и продолжительности деменции. Первое подобное исследование было проведено Швайцером и его коллегами (Schweizer et al., 2012): авторы использовали метод компьютерной томографии для нахождения различий в атрофии мозга у билингвов и монолингвов с БА, уравнив обе группы по уровню образования и тяжести заболевания. Авторы обнаружили, что при сопоставимых уровнях нарушения когнитивных функций у билингвов наблюдалась более выраженная атрофия в областях, обычно пораженных БА, а именно в соотношении височного рога (Zhang et al., 2008), третьего желудочка и радиальной ширины височного рога (Frisoni et al., 2002; Frisoni et al., 2002). Учитывая то, что исследуемые группы были сопоставимы по степени нарушения когнитивных функций, авторы предположили наличие у билингвов более развитой НК. Голд и другие соавторы (Gold et al., 2013) также сравнили целостность белого вещества у пожилых билингвов и монолингвов, сопоставимых по уровню прохождения ряда когнитивных тестов, уровню образования, социально-экономическому статусу (СЭС) и уровню интеллекта. В ходе данного исследования у билингвов была обнаружена меньшая целостность белого вещества в мозолистом теле, нижнем продольном пучке, нижнем лобно-затылочном пучке и своде головного мозга. Эти участки белого вещества — часть совокупности нейронных связей, отвечающих за память и обычно деградирующих при БА и незначительных нарушениях мозга (Stebbins, Murphy, 2009). Авторы интерпретировали полученные результаты как доказательство положительного влияния билингвизма на развитие когнитивного резерва: демонстрация билингвами сопоставимых с монолингвами результатов выполнения заданий, несмотря на меньшее количество доступных для нормального функционирования нейронных ресурсов, свидетельствует о более высоких уровнях НК.

На первый взгляд, эти результаты могут противоречить результатам описанных выше исследований (Anderson et al., 2018; Luk et al.,

2011; Olsen et al., 2015), так как вторые выступают в поддержку целостности белого вещества у пожилых билингвов в сравнении с монолингвами. Однако стоит учитывать, что в выборку вышеупомянутых исследований были включены здоровые пожилые люди, в то время как испытуемые Голда и соавт. имели более высокую степень развития БА, о чем свидетельствовало состояние конкретных участков белого вещества, отражающее снижение целостности нейронного субстрата. Этот факт объясняет, почему в исследовании Голда и соавт. у билингвов наблюдалась меньшая целостность белого вещества по сравнению со здоровыми монолингвами. Похожие результаты были найдены и в исследовании Перани и его соавт. (Perani et al., 2017), использующих метод фтордезоксиглюкозно-позитронно-эмиссионной томографии (ФДГ ПЭТ) для исследования нейронных связей и метаболизма мозга у билингвов и монолингвов с БА, сопоставимых по продолжительности заболевания и уровню общего когнитивного функционирования. Анализ выявил более тяжелую степень церебрального гипометаболизма у билингвов, что свидетельствует о более высоком уровне НК. Кроме этого, в сетях ИК и пассивного режима работы мозга у билингвов был обнаружен более повышенный уровень функциональной коннективности, чем у монолингвов. Более того, эти функциональные изменения положительно коррелировали со степенью владения L2. Другое исследование с использованием ФДГ ПЭТ (Kowoll et al., 2016) показало похожие результаты: у пожилых билингвов с умеренными когнитивными нарушениями (УКН) и предположительным диагнозом БА был обнаружен значительно более высокий уровень глюкозного гипометаболизма в лобно-височной области, теменной области, а также в левом мозжечке по сравнению со сверстниками-монолингвами, схожими по возрасту, полу и тяжести заболевания. Похожие различия, демонстрирующие повышенную НК у билингвов, также были обнаружены в височной и теменной коре — структурах, обычно участвующих в патологии Альцгеймера. Так, в недавнем исследовании (Costumero et al., 2020), сравнивающим общее количество мозговой паренхимы (например, белое вещество + серое вещество) между двумя группами билингвов и монолингвов, у билингвов были обнаружены зна-

чительно меньшие объемы паренхимы. Более того, проведенный авторами лонгитюдный анализ показал, что за период наблюдения в 7 месяцев монолингвы потеряли больше паренхимы и показали более выраженное снижение когнитивных функций, чем билингвы. И вновь результаты могут свидетельствовать о том, что мозг билингвов способен успешно компенсировать атрофию мозга и достичь сопоставимых с монолингвами когнитивных результатов.

Итак, рассмотренные выше исследования поддерживают идею о том, что билингвизм способствует развитию КР и является прямым коррелятом НР. Благодаря НР билингвы способны поддерживать сопоставимый с монолингвами уровень когнитивного функционирования даже на фоне тяжелых ухудшений состояния мозга.

БИЛИНГВИЗМ И НЕЙРОКОГНИТИВНЫЙ РЕЗЕРВ: ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из наименее изученных аспектов нейрокогнитивного резерва являются механизмы, лежащие в основе взаимодействия между МР и КР на протяжении жизни билингва и обеспечивающие защиту когнитивных функций от ослабления на более поздних жизненных этапах. Частичному прояснению этой темы способствовало исследование Дель Маскио и соавт. (Del Maschio et al., 2018), использовавших фланговую задачу Эриксона для изучения особенностей ИК у билингвов и монолингвов молодого и пожилого возраста. Авторы исследовали отвечающие за ИК области головного мозга с помощью воксельной морфометрии (ВМ). Целью исследования являлось изучение того, как взаимодействие МР и КР влияет на поведенческие характеристики ИК на этапе старения организма. Их первоначальный вывод, согласующийся с результатами более ранних исследований (Bialystok et al., 2004, 2014; Gold et al., 2013), касался поведенческого преимущества ИК у пожилых билингвов (но не у молодых билингвов) по сравнению с их сверстниками-монолингвами (Virginia, 2015). Более того, проведенное авторами исследование выявило наличие у

билингвов обеих возрастных групп большего объема серого вещества в отвечающих за ИК областях мозга (а именно ППК, ПФК, и НТД), доказывая ключевую роль билингвизма в формировании МР на самых ранних этапах жизни человека. Тем не менее наиболее интересные результаты были получены в ходе проведения анализа ВМ + анализа поведенческих данных. В соответствии с закономерностью, выявленной для всех вышеупомянутых областей мозга (согласно которой билингвы демонстрируют улучшенный МР по сравнению с монолингвами), поведенческие показатели пожилых билингвов не зависели от снижения ОСВ и оставались на оптимальном уровне даже в условиях сокращения ОСВ в отвечающих за ИК областях, в то время как показатели пожилых монолингвов были снижены из-за атрофии этих отделов мозга. Авторы предположили, что полученные результаты могут отражать предклинические различия в когнитивных стратегиях и активирующихся для выполнения задач ИК сетях мозга. Даже если ВМ-анализ не позволил провести “онлайн” исследование лежащих в основе этого явления механизмов, актуальной остается гипотеза авторов о том, что изучение второго языка на протяжении всей жизни способствует развитию МР путем обширного обучения сети ИК, что, в свою очередь, приводит к улучшению КР за счет повышения эффективности и гибкости сети (то есть НР) и, таким образом, разработки различных стратегий борьбы с возрастным ухудшением работоспособности мозга (то есть НК). Аналогичным образом недавнее лонгитюдное исследование с участием пожилых билингвов и монолингвов показало, что билингвизм способствует смягчению потери семантической памяти, связанной с истончением энторинальной коры (Arce Rentería et al., 2019).

Помимо проведения нейровизуализационных исследований учеными также были предприняты попытки создания моделей механизмов, которые, предположительно, могут участвовать в формировании нейропротекторного эффекта у билингвов. Например, Грант и соавт. (Grant et al., 2014) предложили модель задне-переднего сдвига при старении (posterior-to-anterior shift in aging, PASA) (Davis et al., 2007; Dennis, Cabeza, 2008). Согласно этой модели, для поддержания оптимального уровня поведенческих характеристик на фо-

не возрастного снижения нейронной активности в задних отделах головного мозга (теменная доля) пожилые люди должны больше полагаться на его передние отделы (лобная доля). В случае с билингвизмом эта цель, напротив, должна достигаться за счет сохранения работоспособности задних отделов мозга и целостности их связей с лобной долей. Таким образом, из-за менее выраженного ухудшения состояния задней части мозга у билингвов может в меньшей степени наблюдаться задне-передний сдвиг при старении. Это предположение основано на результатах рассмотренных нами ранее исследований, свидетельствующих как об увеличении ОСВ в передней височной доле и в НТД (Abutalebi et al., 2014, 2015), так и о более развитых связях между передними и задними отделами мозга у пожилых билингвов (Luk et al., 2011). Другая модель, разработанная Гранди и его коллегами (Grundy et al., 2017), получила название передне-заднего и подкоркового сдвига (*anterior to posterior and subcortical shift*, BAPSS). Основная гипотеза авторов данной модели заключается в том, что при выполнении задач на ИК у билингвов с высоким уровнем владения L2, по сравнению с монолингвами, должна в меньшей степени наблюдаться активация передних областей мозга и в большей степени – задних/подкорковых областей. Модель передне-заднего и подкоркового сдвига основана на пяти различных типах данных, полученных в результате исследования билингвов: 1) по сравнению с монолингвами у билингвов наблюдается повышенный ОСВ в задних и подкорковых областях мозга (Abutalebi et al., 2013; Abutalebi et al., 2015; Burgaleta et al., 2016; Pliatsikas et al., 2014, 2017; Wei et al., 2015); 2) мозг билингвов характеризуется большей целостностью белого вещества (Coggins et al., 2004; Felton et al., 2017; Gold, Johnson, et al., 2013; Luk et al., 2011); 3) у билингвов наблюдается меньшая активация фронтальных областей мозга, при этом производительность при решении связанных с ИК задач равна или лучше производительности тех же задач у монолингвов (Abutalebi et al., 2012; Rodríguez-Pujadas et al., 2014; Waldie et al., 2009); 4) билингвы характеризуются более устойчивыми функциональными связями между различными областями мозга, активируемыми во время выполнения задач на ИК. Таким образом, мозг билингвов спо-

собен лучше распределять нагрузку, не слишком задействуя ресурсы фронтальных областей (Costumero et al., 2015; Grady et al., 2015; Li et al., 2015; Luk et al., 2010). Наконец, 5) исследования с использованием метода ЭЭГ показывают, что для достижения равных с монолингвами показателей производительности ИК билингвы полагаются на более ранние стадии обработки информации, чем монолингвы (Barac et al., 2016; Fernandez et al., 2013, 2014; Moreno et al., 2014; Sullivan et al., 2014). Опираясь на эти данные, Гранди и соавт. сделали вывод о том, что способность пожилых билингвов переключаться с более энергозатратной и нисходящей обработки информации на более автоматическую и раннюю развивается благодаря многолетнему опыту одновременного использования двух и более языков. Предложенная авторами модель может помочь в объяснении механизмов, лежащих в основе нейропротекторного влияния билингвизма на стареющий мозг: согласно этой модели, меньшая зависимость от передних областей мозга и более сильная зависимость от задних областей/подкорковых структур способствуют поддержанию оптимального уровня когнитивного функционирования билингвов.

В дополнение к рассмотренным выше потенциальным механизмам взаимодействия стоит кратко упомянуть предоставленную Гузман-Велесом и Транелем характеристику НКР (Guzmán-Vélez, Tranel, 2015): согласно норадренергической теории КР (Robertson, 2013), факторы, способствующие формированию МР и КР, также активируют норадренергическую систему, что, в свою очередь, приводит к реализации компенсаторных механизмов (например, усилению нейрогенеза и синаптогенеза, увеличению выработки нейротрофического фактора мозга (ВНФМ), увеличению ОСВ) и механизмов модификации заболевания (например, уменьшению амилоидной нагрузки, уменьшению размера бляшек, противовоспалительным процессам и восстановлению холинергических и дофаминергических клеток). Изучение нескольких языков, заслуженно причисляемое к этим защитным факторам, также способствует более эффективной работе головного мозга и формированию защиты от ослабления когнитивных функций в результате старения.

В заключении этого раздела мы рассмотрим перспективы дальнейших исследований билингвизма в его связи с НКР. В одном из недавних исследований (Arenaza-Urquijo, Vemuri, 2018) авторами была предпринята попытка реорганизовать касающуюся когнитивного старения терминологию путем объединения подпонятий НКР и других понятий (Nyberg et al., 2012) в единую систему. Так, авторы исследования предложили провести единую общепринятую грань между понятиями сопротивления деменции и устойчивости к деменции. Понятие устойчивости к деменции (в целом совпадающее с понятием НКР) относится к способности человека поддерживать более высокий уровень когнитивных способностей, несоизмеримый со степенью повреждения головного мозга. Понятие сопротивления деменции (примерно совпадающее с понятием поддержания работоспособности мозга) относится к предотвращению появления патологий мозга. Уровень сопротивления деменции оценивается путем выявления в мозге человека таких биомаркеров деменции, как бета-амилоид или тау-белок, в то время как устойчивость к деменции обычно оценивается путем тестирования работоспособности когнитивных функций, связанных с патологией мозга. Как упоминалось выше, результаты многих исследований подтверждают ключевую роль билингвизма в повышении устойчивости мозга к ослаблению когнитивных функций за счет поддержания структур серого и белого вещества, поддержания когнитивных способностей на фоне ухудшения состояния нервной системы и т.д. Однако исследования, посвященные изучению влияния билингвизма на устойчивость к возрастным нарушениям, в настоящий момент представлены в научной литературе в недостаточном объеме. Одним из значимых показателей этого влияния может быть задержка развития БА, наблюдаемая во многих рассмотренных выше исследованиях. Сдерживающая роль билингвизма в контексте БА была также выявлена в непосредственно посвященном влиянию билингвизма на биомаркеры БА исследовании (Estanga et al., 2017), проведенном на группе из 278 человек. Помимо этого, результаты исследования продемонстрировали связь билингвизма с высокими результатами решения различных когнитивных задач и меньшей распро-

страненностью доклинической БА среди билингвов. Эти результаты являются доказательством того, что билингвизм может способствовать как устойчивости, так и сопротивляемости деменции и возрастному снижению работоспособности когнитивных функций в целом. Мы считаем, что эти ключевые нейробиологические аспекты взаимосвязи между билингвизмом и когнитивным старением заслуживают большего внимания в будущих исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поддержание эффективной работы мозга является все более и более актуальной задачей в современных условиях увеличивающейся продолжительности жизни. Результаты многочисленных исследований, рассмотренных в этой статье, выступают доказательством весомой роли билингвизма в формировании НКР в течение всей жизни человека. Изучение нескольких языков является важным личностным, образовательным и социальным фактором, способствующим поддержанию нормальной работоспособности когнитивных функций человека во время старения. Как следствие, билингвизм может играть важную роль в улучшении качества жизни пожилых людей и снижении нагрузки на систему здравоохранения. Тем не менее важной задачей является разработка и применение практик поддержания билингвизма среди населения. Исследование с участием кантонско-английских билингвов в Гонконге показало сохранение нейропротекторного эффекта билингвизма только у тех участников, которые продолжают практиковать второй язык после выхода на пенсию (Abutalebi et al., 2015). Ввиду сложности разработки эффективных фармакологических методов лечения ослабления когнитивных функций, такие “экологические” факторы формирования НКР, как билингвизм, должны быть ключевыми в содействии здоровому старению.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование было проведено с использованием Уникальной научной установки НИУ ВШЭ “Автоматизированная система неинвазивной стимуляции мозга с возможностью синхронной регистрации биотоков мозга и отслеживания глазодвижения” при финансо-

вой поддержке Российской Федерации, грант № 075-15-2021-673.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Власова Р.М. “Систематическая ошибка выжившего” и другие источники невалидности в исследованиях билингвального когнитивного развития. Российский журнал когнитивной науки. 2019. 6(1): 6–69.
- Abutalebi J., Canini M., Della Rosa P.A., Green D.W., Weekes B.S. (2015). The neuroprotective effects of bilingualism upon the inferior parietal lobule: A structural neuroimaging study in aging Chinese bilinguals. *Journal of Neurolinguistics*. 2015. 33: 3–13.
- Abutalebi J., Canini M., Della Rosa P.A., Sheung L.P., Green D.W., Weekes B.S. Bilingualism protects anterior temporal lobe integrity in aging. *Neurobiology of Aging*. 2014. 35(9): 2126–2133.
- Abutalebi J., Della Rosa P.A., Green D.W., Hernandez M., Scifo P., Keim R., Cappa S.F., Costa A. Bilingualism tunes the anterior cingulate cortex for conflict monitoring. *Cerebral Cortex*. 2012. 22: 2076–2086.
- Abutalebi J., Green D. Bilingual language production: The neurocognition of language representation and control. *Journal of Neurolinguistics*. 2007. 20(3): 242–275.
- Abutalebi J., Green D.W. Neuroimaging of language control in bilinguals: neural adaptation and reserve. *Bilingualism: Language and Cognition*. 2016. 19(4): 689–698.
- Abutalebi J., Guidi L., Borsa V., Canini M., Della Rosa P.A., Parris B.A., Weekes B.S. Bilingualism provides a neural reserve for aging populations. *Neuropsychologia*. 2015. 69: 201–210.
- Abutalebi J., Rosa P.A.D., Castro Gonzaga A.K., Keim R., Costa A., Perani D. The role of the left putamen in multilingual language production. *Brain and Language*. 2013. 125: 307–315.
- Alladi S., Bak T.H., Duggirala V., Surampudi B., Shailaja M., Shukla A.K. Bilingualism delays age at onset of dementia, independent of education and immigration status. *Neurology*. 2013. 81(22): 1938–1944.
- Anderson J.A., Grundy J.G., Frutos J., Barker R.M., Grady C., Bialystok E. Effects of bilingualism on white matter integrity in older adults. *Neuroimage*. 2018. 167: 143–150.
- Ansaldo A.I., Ghazi-Saidi L., Adrover-Roig D. Interference control in elderly bilinguals: Appearances can be misleading. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*. 2015. 37(5): 455–470.
- Antón E., Duñabeitia J.A., Estévez A., Hernández J.A., Castillo A., Fuentes L.J. Is there a bilingual advantage in the ANT task? Evidence from children. *Frontiers in Psychology*. 2014. 5: 398.
- Apostolova L.G., Steiner C.A., Akopyan G.G., Dutton R.A., Hayashi K.M., Toga A.W. Three-dimensional gray matter atrophy mapping in mild cognitive impairment and mild Alzheimer disease. *Archives of Neurology*. 2007. 64(10): 1489–1495.
- Arce Rentería M., Casalietto K., Tom S., Pa J., Harrati A., Armstrong N. The contributions of active Spanish–English bilingualism to cognitive reserve among older Hispanic adults living in California. *Archives of Clinical Neuropsychology*. 2019. 34(7): 1235–1235.
- Arenaza-Urquijo E.M., Vemuri P. Resistance vs resilience to Alzheimer disease: clarifying terminology for preclinical studies. *Neurology*. 2018. 90: 695–703.
- Bak T.H., Nissan J.J., Allerhand M.M., Deary I.J. Does bilingualism influence cognitive aging? *Annals of Neurology*. 2014. 75(6): 959–963.
- Barac R., Moreno S., Bialystok E. Behavioral and electrophysiological differences in executive control between monolingual and bilingual children. *Child Development*. 2016. 87(4): 1277–1290.
- Bartrés-Faz D., Arenaza-Urquijo E.M. Structural and functional imaging correlates of cognitive and brain reserve hypotheses in healthy and pathological aging. *Brain Topography*. 2011. 24(3–4): 340.
- Bialystok E. The bilingual adaptation: How minds accommodate experience. *Psychological Bulletin*. 2017. 143(3): 233.
- Bialystok E., Abutalebi J., Bak T.H., Burke D.M., Kroll J.F. Aging in two languages: Implications for public health. *Ageing Research Reviews*. 2016. 27: 56–60.
- Bialystok E., Craik F.I., Freedman M. Bilingualism as a protection against the onset of symptoms of dementia. *Neuropsychologia*. 2007. 45(2): 459–464.
- Bialystok E., Craik F.I., Klein R., Viswanathan M. Bilingualism, aging, and cognitive control: evidence from the Simon task. *Psychology and Aging*. 2004. 19(2): 290.
- Bialystok E., Craik F., Luk G. Cognitive control and lexical access in younger and older bilinguals. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2008. 34(4): 859–873.
- Bialystok E., Poarch G., Luo L., Craik F.I. Effects of bilingualism and aging on executive function and working memory. *Psychology and Aging*. 2014. 29(3): 696.
- Burgaleta M., Sanjuán A., Ventura-Campos N., Sebastian-Galles N., Ávila C. Bilingualism at the core of the brain. Structural differences between bilinguals and monolinguals revealed by subcortical shape analysis. *NeuroImage*. 2016. 125: 437–445.

- Calabria M., Costa A., Green D.W., Abutalebi J.* Neural basis of bilingual language control. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2018. 1426(1): 221–235.
- Cheng S.* Cognitive reserve and the prevention of dementia: the role of physical and cognitive activities. *Current Psychiatry Reports*. 2016. 18(9): 85.
- Chertkow H., Whitehead V., Phillips N., Wolfson C., Atherton J., Bergman H.* Multilingualism (but not always bilingualism) delays the onset of Alzheimer disease: Evidence from a bilingual community. *Alzheimer Disease Associated Disorders*. 2010. 24(2): 118–125.
- Clare L., Wu Y.T., Teale J.C., MacLeod C., Matthews F., Brayne C., Woods B.* Potentially modifiable lifestyle factors, cognitive reserve, and cognitive function in later life: A cross-sectional study. *PLoS Medicine*. 2017. 14(3): e1002259.
- Coggins III P.E., Kennedy T.J., Armstrong T.A.* Bilingual corpus callosum variability. *Brain and Language*. 2004. 89(1): 69–75.
- Costa A., Hernández M., Costa-Faidella J., Sebastián-Gallés N.* On the bilingual advantage in conflict processing: Now you see it, now you don't. *Cognition*. 2009. 113(2): 135–149.
- Costumero V., Marin-Marin L., Calabria M., Belloch V., Escudero J., Baquero M.* A cross-sectional and longitudinal study on the protective effect of bilingualism against dementia using brain atrophy and cognitive measures. *Alzheimer's Research Therapy*. 2020. 12(1): 1–10.
- Costumero V., Rodríguez-Pujadas A., Fuentes-Claramonte P., Ávila C.* How bilingualism shapes the functional architecture of the brain: A study on executive control in early bilinguals and monolinguals. *Human Brain Mapping*. 2015. 36(12): 5101–5112.
- Craik F.I.M., Bialystok E., Freedman M.* Delaying the onset of Alzheimer disease: Bilingualism as a form of cognitive reserve. *Neurology*. 2010. 75(19): 1726–1729.
- Davis S.W., Dennis N.A., Daselaar S.M., Fleck M.S., Cabeza R.* Que PASA? The posterior–anterior shift in aging. *Cerebral Cortex*. 2007. 18(5): 1201–1209.
- de Frutos-Lucas J., López-Sanz D., Cuesta P., Bruña R., Fuente S., Serrano N.* Enhancement of posterior brain functional networks in bilingual older adults. *Bilingualism: Language and Cognition*. 2020. 23(2): 387–400.
- Del Maschio N., Sulpizio S., Gallo F., Fedeli D., Weekes B.S., Abutalebi J.* Neuroplasticity across the lifespan and aging effects in bilinguals and monolinguals. *Brain and Cognition*. 2018. 125: 118–126.
- Della Rosa P.A., Videsott G., Borsa V.M., Canini M., Weekes B.S., Franceschini R., Abutalebi J.* A neural interactive location for multilingual talent. *Cortex*. 2013. 49(2): 605–608.
- Dennis N.A., Cabeza R.* Neuroimaging of healthy cognitive aging. In *The Handbook of Aging and Cognition*. 2008. 3: 1–54.
- Duñabeitia J.A., Hernández J.A., Antón E., Macizo P., Estévez A., Fuentes L.J., Carreiras M.* The inhibitory advantage in bilingual children revisited: Myth or reality? *Experimental Psychology*. 2014. 61(3): 234–251.
- Estanga A., Ecay-Torres M., Ibanez A., Izagirre A., Villanua J., García-Sebastian M.* Beneficial effect of bilingualism on Alzheimer's disease CSF biomarkers and cognition. *Neurobiology of Aging*. 2017. 50: 144–151.
- Felton A., Vazquez D., Ramos-Nunez A.I., Greene M.R., Macbeth A., Hernandez A.E., Chiarello C.* Bilingualism influences structural indices of interhemispheric organization. *Journal of Neurolinguistics*. 2017. 42: 1–11.
- Fernandez M., Acosta J., Douglass K., Doshi N., Tartar J.L.* Speaking two languages enhances an auditory but not a visual neural marker of cognitive inhibition. *AIMS Neuroscience*. 2014. 1(2): 145.
- Fernandez M., Tartar J.L., Padron D., Acosta J.* Neurophysiological marker of inhibition distinguishes language groups on a non-linguistic executive function test. *Brain and Cognition*. 2013. 83(3): 330–336.
- Filippi R., Richardson F.M., Dick F., Leech R., Green D.W., Thomas M.S., Price C.J.* The right posterior paravermis and the control of language interference. *Journal of Neuroscience*. 2011. 31(29): 10732–10740.
- Fjell A.M., Walhovd K.B., Fennema-Notestine C., McEvoy L.K., Hagler D.J., Holland D.* One-year brain atrophy evident in healthy aging. *Journal of Neuroscience*. 2009. 29(48): 15223–15231.
- Frisoni G.B., Geroldi C., Beltramello A., Bianchetti A., Binetti G., Bordiga G.* Radial width of the temporal horn: a sensitive measure in Alzheimer disease. *American Journal of Neuroradiology*. 2002. 23(1): 35–47.
- Frisoni G.B., Rossi R., Beltramello A.* The radial width of the temporal horn in mild cognitive impairment. *Journal of Neuroimaging*. 2002. 12(4): 351–354.
- Gathercole V.C.M., Thomas E.M., Kennedy I., Prys C., Young N., Viñas-Guash N.* Does language dominance affect cognitive performance in bilinguals? Lifespan evidence from preschoolers through older adults on card sorting, Simon, and metalinguistic tasks. *Frontiers in Psychology*. 2014. 5: 11.
- Gold B.T., Johnson N.F., Powell D.K.* Lifelong bilingualism contributes to cognitive reserve against

- white matter integrity declines in aging. *Neuropsychologia*. 2013. 51(13): 2841–2846.
- Gold B.T., Kim C., Johnson N.F., Kryscio R.J., Smith C.D. Lifelong bilingualism maintains neural efficiency for cognitive control in aging. *Journal of Neuroscience*. 2013. 33(2): 387–396.
- Gollan T.H., Salmon D.P., Montoya R.I., Galasko D.R. Degree of bilingualism predicts age of diagnosis of Alzheimer's disease in low-education but not in highly educated Hispanics. *Neuropsychologia*. 2011. 49(14): 3826–3830.
- Grady C.L., Luk G., Craik F.I., Bialystok E. Brain network activity in monolingual and bilingual older adults. *Neuropsychologia*. 2015. 66: 170–181.
- Grant A., Dennis N.A., Li P. Cognitive control, cognitive reserve, and memory in the aging bilingual brain. *Frontiers in Psychology*. 2014. 5: 1401.
- Green D.W. Mental control of the bilingual lexico-semantic system. *Bilingualism: Language and Cognition*. 1998. 1(2): 67–81.
- Green D.W., Abutalebi J. Language control in bilinguals: The adaptive control hypothesis. *Journal of Cognitive Psychology*. 2013. 25(5): 515–530.
- Grogan A., Jones O.P., Ali N., Crinion J., Orabona S., Mechias M.L. Structural correlates for lexical efficiency and number of languages in non-native speakers of English. *Neuropsychologia*. 2012. 50(7): 1347–1352.
- Grundy J.G., Anderson J.A., Bialystok E. Neural correlates of cognitive processing in monolinguals and bilinguals. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2017. 1396(1): 183–201.
- Gunning-Dixon F.M., Brickman A.M., Cheng J.C., Alexopoulos G.S. Aging of cerebral white matter: A review of MRI findings. *International Journal of Geriatric Psychiatry: A Journal of the Psychiatry of Late Life and Allied Sciences*. 2009. 24(2): 109–117.
- Guzmán-Vélez E., Tranel D. Does bilingualism contribute to cognitive reserve? Cognitive and neural perspectives. *Neuropsychology*. 2015. 29(1): 139.
- Heim S., Stumme J., Bittner N., Jockwitz C., Amunts K., Caspers S. Bilingualism and “brain reserve”: A matter of age. *Neurobiology of Aging*. 2019. 81: 157–165.
- Hurd M.D., Martorell P., Delavande A., Mullen K.J., Langa K.M. Monetary costs of dementia in the United States. *New England Journal of Medicine*. 2013. 368(14): 1326–1334.
- Incera S., McLennan C.T. Bilingualism and age are continuous variables that influence executive function. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*. 2018. 25(3): 443–463.
- Ivanova I., Costa A. Does bilingualism hamper lexical access in speech production? *Acta Psychologica*. 2008. 127(2): 277–288.
- Kalpourzos G., Chételat G., Baron J.C., Landeau B., Mevel K., Godeau C., Desgranges B. Voxel-based mapping of brain gray matter volume and glucose metabolism profiles in normal aging. *Neurobiology of Aging*. 2009. 30(1): 112–124.
- Katzman R. Education and the prevalence of dementia and Alzheimer's disease. *Neurology*. 1993. 43(1): 13–20.
- Kontis V., Bennett J., Mathers C., Li G., Foreman K., Ezzati M. Future life expectancy in 35 industrialised countries: Projections with a Bayesian model ensemble. *The Lancet*. 2017. 389(10076): 1323–1335.
- Kowoll M.E., Degen C., Gorenc L., Küntzelmann A., Fellhauer I., Giesel F. Bilingualism as a contributor to cognitive reserve? Evidence from cerebral glucose metabolism in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Frontiers in Psychiatry*. 2016. 7: 62.
- Kroll J.F., Stewart E. Category interference in translation and picture naming: Evidence for asymmetric connections between bilingual memory representations. *Journal of Memory and Language*. 1994. 33(2): 149–174.
- Lambon Ralph M.A., Pobric G., Jefferies E. Conceptual knowledge is underpinned by the temporal pole bilaterally: Convergent evidence from rTMS. *Cerebral Cortex*. 2008. 19(4): 832–838.
- Li L., Abutalebi J., Zou L., Yan X., Liu L., Feng X. Bilingualism alters brain functional connectivity between “control” regions and “language” regions: Evidence from bimodal bilinguals. *Neuropsychologia*. 2015. 71: 236–247.
- Livingston G., Sommerlad A., Orgeta V., Costafreda S.G., Huntley J., Ames D. Dementia prevention, intervention, and care. *The Lancet*. 2017. 390(10113): 2673–2734.
- Ljungberg J.K., Hansson P., Andrés P., Josefsson M., Nilsson L.-G. A Longitudinal Study of Memory Advantages in Bilinguals. *PLoS ONE*. 2013. 8(9): e73029.
- López Zunini R.A., Morrison C., Kousaie S., Taler V. Task switching and bilingualism in young and older adults: A behavioral and electrophysiological investigation. *Neuropsychologia*. 2019. 133.
- Luk G., Anderson J.A., Craik F.I., Grady C., Bialystok E. Distinct neural correlates for two types of inhibition in bilinguals: Response inhibition versus interference suppression. *Brain and Cognition*. 2010. 74(3): 347–357.
- Luk G., Bialystok E., Craik F.I., Grady C.L. Lifelong bilingualism maintains white matter integrity in

- older adults. *Journal of Neuroscience*. 2011. 31(46): 16808–16813.
- McDonald C.R., McEvoy L.K., Gharapetian L., Fenema-Notestine C., Hagler D.J., Holland D., Koyama A., Brewer J.B., Dale A.M. Regional rates of neocortical atrophy from normal aging to early Alzheimer disease. *Neurology*. 2009. 73(6): 457–465.
- Mechelli A., Crinion J.T., Noppeney U., O'doherty J., Ashburner J., Frackowiak R.S., Price C.J. Neuro-linguistics: Structural plasticity in the bilingual brain. *Nature*. 2004. 431(7010): 757–757.
- Mendez M.F., Chavez D., Akhlaghipour G. Bilingualism delays expression of Alzheimer's clinical syndrome. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*. 2020. 48: 281–289.
- Mitchell E.M. Concentration of Health Expenditures in the U.S. Civilian Noninstitutionalized Population, 2014. In *Statistical Brief (Medical Expenditure Panel Survey (US))*. Agency for Healthcare Research and Quality (US). 2016.
- Mohades S.G., Struys E., Schuerbeek P., Baeken C., Craen P., Luybaert R. Age of second language acquisition affects nonverbal conflict processing in children: an fMRI study. *Brain and Behavior*. 2014. 4(5): 626–642.
- Moreno S., Wodniecka Z., Tays W., Alain C., Bialystok E. Inhibitory control in bilinguals and musicians: event related potential (ERP) evidence for experience-specific effects. *PLoS ONE*. 2014. 9(4): e94169.
- Mummery C.J., Patterson K., Price C.J., Ashburner J., Frackowiak R.S., Hodges J.R. A voxel-based morphometry study of semantic dementia: Relationship between temporal lobe atrophy and semantic memory. *Annals of Neurology*. 2000. 47: 36–45.
- Nakamura A., Cuesta P., Kato T., Arahata Y., Iwata K., Yamagishi M., Kuratsubo I., Kato K., Bundo M., Diers K., Fernández A., Maestú F., Ito K. Early functional network alterations in asymptomatic elders at risk for Alzheimer's disease. *Scientific Reports*. 2017. 7(1): 1–11.
- National health expenditure trends, 1975 to 2014. 2014.
- Nyberg L., Lövdén M., Riklund K., Lindenberger U., Bäckman L. Memory aging and brain maintenance. *Trends in Cognitive Sciences*. 2012. 16(5): 292–305.
- Olsen R.K., Pangelinan M.M., Bogulski C., Chakraborty M.M., Luk G., Grady C.L., Bialystok E. The effect of lifelong bilingualism on regional grey and white matter volume. *Brain Research*. 2015. 1612: 128–139.
- Olulade O.A., Jamal N.I., Koo D.S., Perfetti C.A., LaSasso C., Eden G.F. Neuroanatomical Evidence in Support of the Bilingual Advantage Theory. *Cerebral Cortex*. 2016. 26(7): 3196–3204.
- Paap K.R., Johnson H.A., Sawi O. Bilingual advantages in executive functioning either do not exist or are restricted to very specific and undetermined circumstances. *Cortex*. 2015. 69: 265–278.
- Perani D., Abutalebi J. Bilingualism, dementia, cognitive and neural reserve. *Current Opinion in Neurology*. 2015. 28(6): 618–625.
- Perani D., Farsad M., Ballarini T., Lubian F., Malpetti M., Fracchetti A., Magnani G., March A., Abutalebi J. The impact of bilingualism on brain reserve and metabolic connectivity in Alzheimer's dementia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2017. 114(7): 1690–1695.
- Perquin M., Vaillant M., Schuller A.-M., Pastore J., Dartigues J.-F., Lair M.-L., Diederich N. Lifelong Exposure to Multilingualism: New Evidence to Support Cognitive Reserve Hypothesis. *PLoS ONE*. 2013. 8(4): e62030.
- Pfefferbaum A., Adalsteinsson E., Sullivan E.V. Frontal circuitry degradation marks healthy adult aging: Evidence from diffusion tensor imaging. *NeuroImage*. 2005. 26(3): 891–899.
- Pliatsikas C., DeLuca V., Moschopoulou E., Saddy J.D. Immersive bilingualism reshapes the core of the brain. *Brain Structure and Function*. 2017. 222(4): 1785–1795.
- Pliatsikas C., Johnstone T., Marinis T. Grey matter volume in the cerebellum is related to the processing of grammatical rules in a second language: A structural voxel-based morphometry study. *Cerebellum*. 2014. 13(1): 55–63.
- Prince M., Comas-Herrera A., Knapp M., Guerchet M., Karagiannidou M. World Alzheimer report 2016: improving healthcare for people living with dementia: coverage, quality and costs now and in the future. 2016.
- Raftery A.E., Chunn J.L., Gerland P., Hanaševčíková H., Raftery A.E., Chunn J.L., Sevcíková H. Bayesian Probabilistic Projections of Life Expectancy for All Countries. *Demography*. 2013. 50: 777–801.
- Ramakrishnan S., Mekala S., Mamidipudi A., Yareeda S., Mridula R., Bak T.H., Alladi S., Kaul S. Comparative Effects of Education and Bilingualism on the Onset of Mild Cognitive Impairment. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*. 2017. 44(3–4): 222–231.
- Ressel V., Pallier C., Ventura-Campos N., Díaz B., Roessler A., Ávila C., Sebastián-Gallés N. An effect of Bilingualism on the auditory cortex. *Journal of Neuroscience*. 2012. 32(47): 16597–16601.
- Robertson I.H. A noradrenergic theory of cognitive reserve: Implications for Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*. 2013. 34(1): 298–308.
- Rodríguez-Pujadas A., Sanjuán A., Fuentes P., Ventura-Campos N., Barrós-Loscertales A., Ávila C. Differential neural control in early bilinguals and monolinguals during response inhibition. *Brain and Language*. 2014. 132: 43–51.

- Rosselli M., Loewenstein D.A., Curiel R.E., Penate A., Torres V.L., Lang M., Greig M.T., Barker W.W., Duara R. Effects of bilingualism on verbal and nonverbal memory measures in mild cognitive impairment. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 2019. 25(1): 15–28.
- Rouillard M., Audiffren M., Albinet C., Ali Bahri M., Garraux G., Collette F. Contribution of four life-long factors of cognitive reserve on late cognition in normal aging and Parkinson's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*. 2017. 39(2): 142–162.
- Saidi L.G. Bilingual speakers postpone symptoms of cognitive deficit in Parkinson's disease. *Innovation in Aging*. 2019. 3(1): 661–661.
- Saykin A.J., Wishart H.A., Rabin L.A., Santulli R.B., Flashman L.A., West J.D., McHugh T.L., Mammourian A.C. Older adults with cognitive complaints show brain atrophy similar to that of amnesic MCI. *Neurology*. 2006. 67(5): 834–842.
- Schweizer T.A., Ware J., Fischer C.E., Craik F.I.M., Bialystok E. Bilingualism as a contributor to cognitive reserve: Evidence from brain atrophy in Alzheimer's disease. *Cortex*. 2012. 48(8): 991–996.
- Shearer J., Green C., Ritchie C.W., Zajicek J.P. Health state values for use in the economic evaluation of treatments for alzheimers disease. *Drugs and Aging*. 2012. 29(1): 31–43.
- Stebbins G.T., Murphy C.M. Diffusion tensor imaging in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Behavioural Neurology*. 2009. 21(1–2): 39–49.
- Steffener J., Reuben A., Rakitin B.C., Stern Y. Supporting performance in the face of age-related neural changes: Testing mechanistic roles of cognitive reserve. *Brain Imaging and Behavior*. 2011. 5(3): 212–221.
- Stein M., Federspiel A., Koenig T., Wirth M., Strik W., Wiest R., Brandeis D., Dierks T. Structural plasticity in the language system related to increased second language proficiency. *Cortex*. 2012. 48(4): 458–465.
- Stern Y. Cognitive reserve: Theory and applications. 2013.
- Stern Y. Cognitive reserve. *Neuropsychologia*. 2009. 47(10): 2015–2028.
- Sullivan M.D., Janus M., Moreno S., Astheimer L., Bialystok E. Early stage second-language learning improves executive control: Evidence from ERP. *Brain and Language*. 2014. 139: 84–98.
- Virginia V. Bilingualism and cognition. *Bilingualism*. 2015. 18(1): 3–24.
- Waldie K.E., Badzakova-Trajkov G., Miliivojevic B., Kirk I.J. Neural activity during Stroop colour-word task performance in late proficient bilinguals: A functional Magnetic Resonance Imaging study. *Psychology Neuroscience*. 2009. 2(2): 125–136.
- Wang H.-X., MacDonald S.W.S., Dekhtyar S., Fratiglioni L. Association of lifelong exposure to cognitive reserve-enhancing factors with dementia risk: A community-based cohort study. *PLOS Medicine*. 2017. 14(3): e1002251.
- Wei M., Joshi A.A., Zhang M., Mei L., Manis F.R., He Q., Beattie R.L., Xue G., Shattuck D.W., Leahy R.M., Xue F., Houston S.M., Chen C., Dong Q., Lu Z.L. How age of acquisition influences brain architecture in bilinguals. *Journal of Neurolinguistics*. 2015. 36: 35–55.
- Wilson R.S., Boyle P.A., Yang J., James B.D., Bennett D.A. Early life instruction in foreign language and music and incidence of mild cognitive impairment. *Neuropsychology*. 2015. 29(2): 292–302.
- Wimo A., Guerchet M., Ali G.C., Wu Y.T., Prina A.M., Winblad B., Jönsson L., Liu Z., Prince M. The worldwide costs of dementia 2015 and comparisons with 2010. *Alzheimer's and Dementia*. 2017. 13(1): 1–7.
- Winblad B., Amouyel P., Andrieu S., Ballard C., Brayne C., Brodaty H., Cedazo-Minguez A., Dubois B., Edvardsson D., Feldman H., Fratiglioni L., Frisoni G.B., Gauthier S., Georges J., Graff C., Iqbal K., Jessen F., Johansson G., Jönsson L., ... Zetterberg, H. Defeating Alzheimer's disease and other dementias: A priority for European science and society. *The Lancet Neurology*. 2016. 15(5): 455–532.
- Wodniecka Z., Craik F.I.M., Luo L., Bialystok E. Does bilingualism help memory? Competing effects of verbal ability and executive control. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*. 2010. 13(5): 575–595.
- Woumans E., Santens P., Sieben A., Versijpt J., Stevens M., Duyck W. Bilingualism delays clinical manifestation of Alzheimer's disease. *Bilingualism*. 2015. 18(3): 568–574.
- Yu M., Engels M.M.A., Hillebrand A., Van Straaten E.C.W., Gouw A.A., Teunissen C., Van Der Flier W.M., Scheltens P., Stam C.J. Selective impairment of hippocampus and posterior hub areas in Alzheimer's disease: An MEG-based multiplex network study. *Brain*. 2017. 140(5): 1466–1485.
- Zhang Y., Londos E., Minthon L., Wattmo C., Liu H., Aspelin P., Wahlund L.O. Usefulness of computed tomography linear measurements in diagnosing Alzheimer's disease. *Acta Radiologica*. 2008. 49(1): 91–97.
- Zheng Y., Wu Q., Su F., Fang Y., Zeng J., Pei Z. (2018). The Protective Effect of Cantonese/Mandarin Bilingualism on the Onset of Alzheimer Disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*. 2018. 45(3–4): 210–219.
- Zou L., Ding G., Abutalebi J., Shu H., Peng D. Structural plasticity of the left caudate in bimodal bilinguals. *Cortex*. 2012. 48(9): 1197–1206.

COGNITIVE AND BRAIN RESERVE IN BILINGUALISM**A. S. Malyshevskaya^{a, b, #}, F. Gallo^{a, c}, A. A. Efremov^a, A. V. Myachikov^{a, d}, Y. Y. Shtyrov^{a, e}**^a*National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia*^b*Potsdam University, Potsdam-Golm, Germany*^c*Vita-Salute San Raffaele University, Milan, Italy*^d*Northumbria University, Newcastle upon Tyne, United Kingdom*^e*Aarhus University, Aarhus, Denmark*[#]*e-mail: malyshevskaya.ru@yandex.ru*

Development of science, society and medicine leads to a steady increase in average life expectancy. As a result, science is facing new challenges, including prevention of dementia and the maintenance of efficient brain performance during human aging. Bilingualism is one of the protective factors that prevent cognitive decline and maintain brain neuroplasticity. However, the debate about the neuroprotective properties of bilingualism is still relevant. This article will consider the phenomenon of reserve and determine the relationship between bilingualism and reserve components such as brain reserve, neuronal reserve and neuronal compensation. Moreover, the article will provide an overview of studies on the neural and cognitive mechanisms of bilingualism in healthy brain during aging. In conclusion, we will try to determine how bilingualism can protect the brain from aging through the interaction between brain and cognitive reserves.

Keywords: bilingualism, cognitive reserve, brain reserve, neuron compensation, neuroplasticity, aging

Funding: This article has been carried out using HSE unique equipment (Reg. num 354937)