

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

на правах рукописи

Федерико Галло

**Влияние индивидуального опыта на профилактику и компенсацию
когнитивных последствий старения: нейрофизиологические и поведенческие
данные**

Резюме диссертации

на соискание учёной степени
кандидата психологических наук

Научный руководитель:
PhD, Штыров Юрий Юрьевич

Москва, 2022

Оглавление

Апробация и внедрение результатов	3
1 Введение	7
1.1 Проблема исследования	7
1.2 Цели диссертации	8
1.3 Методология исследования	9
1.4 Научная новизна	10
1.4.1 Основные аспекты теоретической новизны	10
1.4.2 Основные аспекты методологической новизны	11
1.5 Теоретическая и практическая значимость	12
1.5.1 Теоретическая значимость	12
1.5.2 Практические последствия	13
1.6 Основные идеи, выносимые на защиту	14
1.7 Авторский вклад	14
2 Краткое содержание диссертации	15
2.1 Введение	15
2.2 Обзор научного содержания	19
2.2.1 Исследование 1. Билингвизм повышает когнитивный резерв на поздних этапах жизни	21
2.2.2 Исследование 2. Индивидуальные различия в билингвальном опыте модулируют сеть исполнительного контроля и производительность	23
2.2.3 Исследование 3. Как эффективно измерить когнитивный резерв? Сравнение двух подходов к операционализации когнитивного резерва	26
3 Выводы	28
4 Литература	30

Апробация и внедрение результатов

Диссертация подготовлена в центре нейроэкономики и когнитивных исследований Института когнитивных нейронаук НИУ ВШЭ. Результаты, представленные в диссертации, также были получены в ходе исследовательских стажировок в Университете Вита-Салюте Сан-Раффаэле (Милан, Италия) и Каролинском институте (Стокгольм, Швеция), поддержанных Университетом ВШЭ.

Публикации в рецензируемых изданиях

Для защиты были отобраны три опубликованные статьи:

Публикации первого уровня¹

1. Del Maschio, N., Sulpizio, S., **Gallo, F.**, Fedeli, D., Weekes, B. S., & Abutalebi, J. (2018). Neuroplasticity across the lifespan and aging effects in bilinguals and monolinguals. *Brain and Cognition*, 125, 118-126. doi:10.1016/j.bandc.2018.06.007 (Нейропластичность в течение жизни и эффекты старения у билингвов и монолингвов)
2. **Gallo, F.**, Novitskiy, N., Myachykov, A., & Shtyrov, Y. (2021). Individual differences in bilingual experience modulate executive control network and performance: Behavioral and structural neuroimaging evidence. *Bilingualism: Language and Cognition*, 24, 293-304. doi:10.1017/S1366728920000486 (Индивидуальные различия в билингвальном опыте модулируют сеть исполнительного контроля и ее производительность: данные структурной нейровизуализации и поведенческих исследований)
3. **Gallo, F.**, Kalpouzos, G., Laukka, E. J., Wang, R., Qiu, C., Bäckman, L., Marseglia, A., Fratiglioni, L., & Dekhtyar, S. (2021). Cognitive trajectories and dementia risk: A comparison of two cognitive-reserve measures. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13, 540. doi:10.3389/fnagi.2021.737736 (Когнитивные траектории и риск деменции: сравнение двух измерений когнитивного резерва)

Результаты исследования были также опубликованы в следующих статьях:

Публикации первого уровня¹

4. **Gallo, F.**, DeLuca, V., Prystauka, Y., Voits, T., Rothman, J., & Abutalebi, J. (2022). Bilingualism and Aging: Implications for (Delaying) Neurocognitive Decline. *Frontiers in Human Neuroscience*, *16*, 819105. doi: 10.3389/fnhum.2022.819105 (Билингвизм и старение: снижение нейрокognитивных функций и его задержка).
5. **Gallo, F.**, Ramanujan, K., Shtyrov, Y., & Myachykov, A. (2021). Attriters and Bilinguals: What's in a Name?. *Frontiers in Psychology*, *12*, 2747. doi:10.3389/fpsyg.2021.558228 (Атритеры и билингвы: что заложено в названии?)
6. **Gallo, F.**, Bermudez-Margaretto, B., Shtyrov, Y., Abutalebi, J., Kreiner, H., Chitaya, T., Petrova, A., Myachykov, A. (2021). First language attrition: what it is, what it isn't, and what it can be. *Frontiers in Human Neuroscience*, *15*, 513. doi: 10.3389/fnhum.2021.686388 (Аттриция первого языка: что входит и не входит в это понятие, и что может войти)
7. **Gallo, F.**, Kubiak, J., & Myachykov, A. (2022). Add Bilingualism to the Mix: L2 Proficiency Modulates the Effect of Cognitive Reserve Proxies on Executive Performance in Healthy Aging. *Frontiers in Psychology*, *13*, 780261 (Добавьте билингвизм в рецепт: владение вторым языком модулирует влияние прокси когнитивного резерва на исполнительную деятельность в процессе здорового старения)
8. Bermúdez-Margaretto, B.*, **Gallo, F.***, Novitskiy, N., Myachykov, A., Petrova, A., & Shtyrov, Y. (2022). Ultra-rapid and automatic interplay between L1 and L2 semantics in late bilinguals: EEG evidence. *Cortex*, *151*, 147-161. (Сверхбыстрое и

¹Публикации первого уровня включают работы, индексируемые в базах данных Web of Science (Q1 или Q2) или Scopus (Q1 или Q2), а также рецензируемые сборники работ конференций, которые фигурируют в рейтингах CORE (ранги A и A*).

автоматическое взаимодействие между семантикой L1 и L2 у поздних билингвов: ЭЭГ-данные)

*The authors share first-authorship

Публикации второго уровня²

9. Malyshevskaya, A., **Gallo, F.**, Bermudez-Margaretto, B., Shtyrov, Y., Chitaya, T., Petrova, A., Myachykov, A. (2021). Языковая аттриция: механизмы возникновения, особенности изучения и перспективы дальнейших исследований [Электронный ресурс]. Современная зарубежная психология=*Journal of Modern Foreign Psychology*, 10, 111-124. doi:10.17759/jmfp.2021100111. (In Russ., abstr. in Engl.)
10. Bermúdez-Margaretto, B., **Gallo, F.**, Pokhoday, M., Shtyrov, Y., Kreiner, H., & Myachykov, A. (2021). Understanding Language Attrition through Orthography. *Languages*, 6, 199. (Понимание языковой аттриции через орфографию)

Презентации на конференциях

Результаты исследования были представлены на следующих конференциях:

1. 25th Architectures and Mechanisms of Language Processing (AMLaP) Conference, 6-8 сентября 2019 г., (Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия). Доклад: *Proficiency matters: Bilingual experience affects executive control and its cortical network* (Знание языка имеет значение: билингвальный опыт влияет на исполнительный контроль и его кортикальную сеть).
2. Bilingualism Matters Research Symposium 2019, 21 сентября 2019 г., (Эдинбургский университет, Эдинбург, Великобритания). Доклад: *Fluctuations in bilingual experience linked to executive control task performance and brain*

² Публикации второго уровня - это работы, опубликованные в журналах, включенных в список высококачественных журналов ВШЭ или индексируемых в базах данных Web of Science (Q3 или Q4) или Scopus (Q3 или Q4), а также рецензируемые сборники конференций, фигурирующие в рейтингах CORE (ранг B).

anatomy (Колебания в билингвальном опыте связаны с выполнением задач исполнительного контроля и анатомией мозга).

3. Night Whites 2019. The Fifth St. Petersburg Winter Workshop on Experimental Studies of Speech and Language, 16-17 декабря 2019 г., (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия). Доклад: *Individual differences in bilingual experience modulate executive control and its brain network: Behavioral and neuroanatomical data (Индивидуальные различия в билингвальном опыте модулируют исполнительный контроль и его мозговую сеть: поведенческие и нейроанатомические данные).*
4. International CCCP Symposium 'Cross-Language Interplay in a Bilingual Mind' and I-Brain Erasmus+, 10-12 декабря 2020 г., (Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия и Высшая нормальная школа Парижа, Париж, Франция). Доклад: *Individual differences in bilingual experience modulate executive control network and performance: Behavioral and structural neuroimaging evidence (Индивидуальные различия в билингвальном опыте модулируют сеть исполнительного контроля и производительность: данные поведенческих исследований и структурной нейровизуализации).*
5. 20th World Congress of Psychophysiology, 7-11 сентября 2021 г., (Международная организация психофизиологии и Университет электронной науки и техники Китая). Доклад: *Ultra-Rapid and Automatic Interplay between L1 and L2 Semantics in Late bilinguals: EEG Evidence (Сверхбыстрое и автоматическое взаимодействие между семантикой L1 и L2 у поздних билингвов: ЭЭГ-данные).*

1 Введение

1.1 Проблема исследования

Средняя продолжительность жизни неуклонно растет во всем мире в течение последних десятилетий (Kontis et al., 2017). Наряду с преимуществами увеличения продолжительности жизни, это явление влечет за собой некоторые нежелательные последствия, включая постоянно растущую распространенность возрастных недостатков и расстройств - в первую очередь, деменции - и, как следствие, увеличение расходов государственных систем социального обеспечения (Wimo et al., 2017). На нейронном уровне старение связано как со структурными, так и с функциональными изменениями (Walhovd et al., 2011), что приводит к когнитивным нарушениям (Lindenberger, 2014). Тем не менее, была выявлена значительная межиндивидуальная изменчивость в степени снижения когнитивных способностей в результате возрастных изменений мозга (Cosentino & Stern, 2019). На основании имеющихся данных было предложено несколько механизмов сохранения и компенсации возрастных когнитивных нарушений. Основная теоретическая база сосредоточена вокруг концепции *когнитивного резерва*, определяемого как уровень устойчивости когнитивных процессов индивида к возрастному ухудшению состояния мозга (Stern et al., 2020). Хотя многое еще предстоит понять о природе когнитивного резерва, известно, что он постепенно развивается в течение жизни и поддерживается рядом факторов (Stern, 2009), включая максимальный уровень образования, сложность профессии и масштаб социальной активности индивида (Dekhtyar et al., 2019). Одним из факторов, который связан с накоплением когнитивного резерва, является двуязычие (Gallo et al., 2020; Gallo, DeLuca, et al., 2022). В результате постоянных дополнительных когнитивных усилий, необходимых для контроля над использованием двух языков (Kroll et al., 2015) билингвы укрепляют свой нейронный субстрат - как на структурном, так и на функциональном уровнях (Abutalebi & Green, 2016;

Bialystok, 2017). Считается, что это приводит к защитному эффекту, который противодействует возрастному снижению когнитивных способностей и опосредован механизмом когнитивного резерва (Del Maschio et al., 2018; Gallo, Kubiak, et al., 2022).

Основной целью данной диссертации было изучение роли индивидуального жизненного опыта, в частности двуязычия, в развитии когнитивного резерва на протяжении всей жизни. Кроме того, с целью решения давней проблемы измеримости когнитивного резерва, я разработал (усовершенствовал имеющиеся подходы) новый метод для прямого измерения когнитивного резерва и проверил его валидность, сравнив его с традиционными подходами к измерению когнитивного резерва.

1.2 Цели диссертации

1. Изучение роли билингвизма как фактора, поддерживающего развитие когнитивного резерва в период старости;
2. Понимание механизмов, лежащих в основе благотворного влияния двуязычия на когнитивный резерв как на нейроструктурном, так и на поведенческом уровнях;
3. Прояснение взаимосвязи между последствиями двуязычия для мозга и последствиями двуязычия для познавательных процессов, а также выяснение того, как индивидуальные различия в двуязычном опыте могут модулировать эту взаимосвязь;
4. Исследование возрастных особенностей развития когнитивного резерва – его проявлений в молодости и/или только на поздних этапах жизни;
5. Разработка нового методологического подхода к операционализации когнитивного резерва;

6. Проверка валидности этого нового подхода и сравнение его предсказательной способности с традиционными подходами.

1.3 Методология исследования

В целом, в три исследования было включено 540 участников, в том числе 66 молодых (возраст: 18-35 лет) и 474 пожилых (старше 60 лет) взрослых испытуемых. В каждом из трех исследований участники подписывали информированное согласие перед участием в экспериментах. Все эксперименты были одобрены этическими комитетами: Исследование 1 было одобрено комитетом по этике исследований человека при Университете Гонконга и комитетом по этике исследований человека при Университете Вита-Салюте Сан-Раффаэле, исследование 2 было одобрено этическим советом Высшей школы экономики, а исследование 3 было одобрено региональным этическим наблюдательным советом в Стокгольме.

В исследованиях 1 и 2 использовался кросс-секционный дизайн, а исследование 3 основывалось на данных лонгитюдного исследования. Во всех экспериментах использовалась структурная магнитно-резонансная томография (МРТ). В исследованиях 1 и 2 использовался морфометрический подход на основе определенных по анатомическому атласу областях интереса (region-of-interest, ROI), а в исследовании 3 – подход на основе воксельной морфометрии на основе вокселей всего мозга (voxel-based morphometry, VBM). Программное обеспечение для анализа нейровизуализационных данных, использованное в трех исследованиях, включало SPM 12³, FreeSurfer 5.1⁴ и CAT12 (Gaser & Dahnke, 2016).

Поведенческие тесты, использованные в трех исследованиях для оценки когнитивных функций, включали в себя т.н. фланговую задачу (flanker task; Fan et

³ <https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>

⁴ <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>

al., 2005), задачу на отмену цифр, задачу на сопоставление паттернов, задачу на сопоставление рисунков (Zazzo, 1974), задачу сравнения паттернов (Salthouse & Babcock, 1991), задачи на запоминание слов и распознавание слов для эпизодической памяти (Laukka et al., 2013), задачи на семантическую память (Dureman, 1960; Nilsson et al., 1997), задачи на беглость букв и беглость категорий, а также тест Mini-Mental State Examination (MMSE; Cockrell & Folstein, 2002). Программное обеспечение для предъявления стимулов и сбора поведенческих данных для когнитивных тестов включало NBS Presentation 18.1 (Neurobehavioral Systems, Inc., 2020) и Opensesame 3.0. (Mathôt et al., 2012).

Статистические методы, использованные в трех исследованиях, включали в себя моделирование структурных уравнений, линейные и логистические регрессии со смешанными эффектами и модель пропорциональных рисков Кокса. Программное обеспечение для статистического анализа, использованное в трех исследованиях, включало R (R Core Team, 2013) и Stata16 (StataCorp., 2017).

1.4 Научная новизна

1.4.1 Основные аспекты теоретической новизны

Операционализация двуязычного опыта как непрерывной переменной представляет собой основное новшество, внесенное в исследование, обобщенное в данной диссертации. По сравнению с традиционно принятыми групповыми сравнениями, этот новый подход является более экологичным и позволяет лучше описать нейропластические траектории, вызванные двуязычием, что продемонстрировано в том числе и в данной работе. Мы настоятельно рекомендуем такой подход другим исследователям, работающим в данной области.

Вторым аспектом теоретической новизны, несомненно, является разработка подхода к операционализации когнитивного резерва на основе остаточных показателей. Этот новый метод обусловлен изменением точки зрения

на определение когнитивного резерва, и он предоставляет исследователям прямой, индивидуализированный и чувствительный ко времени показатель, тесно связанный с индивидуальными уровнями нейрональной целостности. Кроме того, прямое сравнение валидности и прогностической силы этого нового метода с традиционными, основанными на косвенных показателях мерами когнитивного резерва, насколько нам известно, впервые в литературе описано именно в данной работе.

1.4.2 Основные аспекты методологической новизны

Если этому не препятствуют условия окружающей среды (например, пандемия, вынуждающая приостановить сбор данных при непосредственном взаимодействии с испытуемыми), при исследовании концепции когнитивного резерва мы всегда стремимся включать как нейровизуализационные, так и поведенческие данные. Действительно, только объединив эти два источника данных, можно получить убедительные доказательства того, что когнитивный резерв противостоит влиянию возрастного ухудшения состояния нервной системы, выражающемуся в снижении когнитивных способностей. Несмотря на свою важность, эта практика до сих пор используется довольно редко, особенно в исследованиях билингвизма. Таким образом, ее последовательное применение в исследованиях, представленных в данной диссертации, знаменует изменение трендов в данной области.

Второй аспект методологической новизны заключается в комбинированном применении подходов моделирования структурных уравнений и регрессии, используемых для получения составных показателей когнитивного резерва на основе остатков и прокси. Действительно, такой подход редко использовался до исследования, представленного в данной диссертации.

1.5 Теоретическая и практическая значимость

1.5.1 Теоретическая значимость

Исследование, представленное в данной диссертации, способствует освещению роли, которую играет двуязычие в успешном старении, а также предоставляет нам инструмент, который может оказаться ключевым для расширения наших общих знаний о механизмах, лежащих в основе эффектов когнитивного резерва.

Результаты исследования 1 показывают, что двуязычие обеспечивает защиту от когнитивного старения на поздних этапах жизни, и помогают пролить свет на механизмы, лежащие в основе этого явления. Действие этих эффектов, по-видимому, двояко: во-первых, двуязычие вызывает нейропластические изменения, которые *непосредственно* смягчают последствия возрастной деградации нейронов. Во-вторых, двуязычие способствует появлению компенсаторных механизмов, которые позволяют людям поддерживать оптимальные когнитивные показатели даже при появлении такого ухудшения нейронных функций.

Исследование 2 демонстрирует важность непрерывного подхода к операционализации двуязычного опыта. Действительно, такой подход позволил нам выявить траекторию, лежащую в основе нейропластических изменений, вызванных двуязычием, а также показать, что защитный эффект двуязычия против когнитивного старения может иметь свои истоки в ранних этапах жизни индивида. Оба эти результата значительно расширяют наши знания о когнитивных последствиях владения несколькими языками.

Наконец, подход к остаточному когнитивному резерву, представленный в исследовании 3, может способствовать развитию теоретических основ когнитивного резерва, в настоящее время являющихся предметом значительных дебатов (см. обзор Stern et al., 2020). Действительно, такая мера – индивидуальная,

непрерывная, прямая и связанная с мозгом, – обеспечивает новые уровни сопоставимости и манипулируемости, что поможет будущим исследованиям. Это, в свою очередь, открывает новые направления исследований, например, лонгитюдное исследование валидности факторов, которые поддерживают когнитивный резерв.

1.5.2 Практические последствия

Результаты исследования, представленные в данной диссертации, также обладают потенциалом для внесения конкретного полезного вклада в общество.

Например, выявляя факторы – в данном случае двуязычие, – которые естественным образом отсрочивают и смягчают когнитивные последствия старения мозга, и лежащие в их основе механизмы, такого рода исследования могут дать правительствам инструмент для улучшения качества жизни пожилых членов общества. В то же время, наши результаты дают возможность снизить нагрузку на системы здравоохранения и государственные фонды, которые, как известно, несут непропорциональное бремя расходов, связанных с пожилыми слоями населения (см. напр. Wimo et al., 2017).

Кроме того, методологические усовершенствования, описанные в исследовании 3, могут иметь значительные практические последствия. Действительно, новая мера остаточного когнитивного резерва может быть использована в клинической практике, позволяя врачам составить индивидуальный профиль траектории снижения когнитивных способностей каждого пациента. Это, в свою очередь, позволит разработать действительно персонализированные планы лечения и, таким образом, добиться лучших результатов в профилактике и реабилитации возрастных когнитивных заболеваний.

1.6 Основные идеи, выносимые на защиту

1. Двуязычие способствует развитию как резерва мозга, так и когнитивного резерва в период старости;
2. Непрерывная операционализация двуязычного опыта выявляет нейропластическую траекторию, которая влияет на нейронный субстрат на структурном уровне на начальных этапах овладения второго языка, в конечном итоге приводя к функциональным изменениям;
3. Развитие когнитивного резерва, вызванное двуязычием, происходит уже в молодом возрасте;
4. Подход к операционализации когнитивного резерва на основе остаточных показателей предоставляет более надежные предикторы траекторий снижения когнитивных функций и заболеваемости деменцией по сравнению с подходом на основе косвенных показателей.

1.7 Авторский вклад

Исследование 1: концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, подготовка и редактирование рукописи.

Исследование 2: концепция и дизайн исследования, сбор данных, анализ и интерпретация данных, подготовка и редактирование рукописи.

Исследование 3: концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, подготовка и редактирование рукописи.

2 Краткое содержание диссертации

2.1 Введение

Хотя известно, что некоторые когнитивные способности ухудшаются в процессе старения сильнее, чем другие (Craik & Salthouse, 2011), в траекториях возрастного снижения когнитивных способностей наблюдается высокая степень индивидуальной вариативности (Cosentino & Stern, 2019). Чтобы учесть эту вариативность Яков Штерн предложил концепцию *когнитивного резерва* (Stern, 2002). С момента своего первого появления в научной литературе рабочее определение когнитивного резерва постоянно уточнялось в соответствии с растущим объемом доступных исследовательских данных (см. Stern et al., 2020). В настоящее время когнитивный резерв принято определять как уровень устойчивости когнитивных процессов человека к возрастному ухудшению состояния мозга (Stern et al., 2020). Считается, что такая устойчивость является результатом повышенной эффективности, емкости и гибкости мозговых сетей на функциональном уровне, которые, в свою очередь, возникают под воздействием различных факторов жизненного опыта, таких как: уровень образования, сложность профессии и интеллектуально стимулирующая деятельность (Barulli & Stern, 2013).

При этом механизмы, лежащие в основе благотворного влияния билингвизма, связывают с повышенными когнитивными усилиями, связанными с ежедневным использованием двух языков. Действительно, неоднократно наблюдалось, что совместно используемые языки одновременно активируются в мозгу билингва, независимо от того, какой из них используется в конкретный момент (например, Kroll et al., 2014). Такая параллельная активация приводит к когнитивному конфликту для говорящего, который должен постоянно контролировать помехи, возникающие от нецелевого языка. Билингвы справляются с этим конфликтом с помощью *языкового контроля* - когнитивного

устройства, нейронные основы которого пересекаются с сетью исполнительного контроля (Abutalebi & Green, 2007; Green & Abutalebi, 2013). Считается, что постоянные усилия по контролю в конечном итоге приносят пользу исполнительному функционалу билингвов – как на нейронном, так и на когнитивном уровнях (Abutalebi & Green, 2016; Bialystok, 2017). Действительно, неоднократно было показано, что билингвы превосходят монолингвов при выполнении ряда задач, связанных с исполнительными функциями (см. обзор в Bialystok, 2017) и демонстрируют более высокую плотность мозговой ткани и функциональную эффективность исполнительной сети, чем монолингвы (см. обзор в Li et al., 2014). Хотя количество данных, подтверждающих эти тезисы, неуклонно растет, следует отметить, что некоторые исследования не смогли воспроизвести эти результаты, что породило дискуссию о реальной природе билингвизма (Antón et al., 2014; Gathercole et al., 2014; Paap et al., 2015). Причины подобных несоответствий вероятно связаны с распространенной практикой сведения спектра билингвизма (сложного и многогранного по своей сути опыта) к бинарной переменной (т.е. наличие или отсутствие) и, таким образом, предпочтением групповых сравнений между «билингвами» и «монолингвами» вместо детальной и индивидуальной оценки билингвального опыта (Luk & Bialystok, 2013; Mishra, 2015; Surrain & Luk, 2019). Подобный подход привел к сдвигу исследований билингвизма в сторону рассмотрения билингвального опыта как континуума (Del Maschio et al., 2020; DeLuca et al., 2019; Gallo, Kubiak & Myachykov, 2022; Gallo, Novitskiy, et al., 2021; Hervais-Adelman et al., 2018). Этот сдвиг в свою очередь открыл новые направления исследований и позволил лучше понять механизмы, лежащие в основе когнитивных последствий билингвизма, включая его вклад в развитие когнитивного резерва (Gallo, Novitskiy, et al., 2021; Gallo, Kubiak & Myachykov, 2022).

Хотя концепция когнитивного резерва служит важной основой для оценки последствий различных факторов образа жизни на когнитивное старение,

понимание самой концепции тесно зависит от них же. Действительно, использование этих факторов в качестве прокси когнитивного резерва в течение многих лет было основным (если не единственным) способом изучения лежащих в его основе нейронных механизмов. Такая взаимозависимость неизбежно приводит к риску развития круговой логики объяснений того, что такое когнитивный резерв и как он работает. Кроме того, у прокси-подхода есть и другие недостатки. Во-первых, прокси являются косвенными показателями когнитивного резерва: например, образование - наиболее широко используемый прокси – широко воздействует на жизнь человека, что может повлиять на его способность компенсировать возрастное снижение нейронных функций множеством способов, не все из которых обязательно связаны с когнитивным резервом. Кроме того, прокси, поскольку они обычно оцениваются пожилыми людьми субъективно, подвержены риску погрешности воспоминаний. Наконец, при использовании прокси-подхода нельзя исключить проблему обратной причинно-следственной связи: если взять в качестве примера образование, то нельзя исключить, что люди с более высокими когнитивными функциональными возможностями чаще достигают более высокого уровня образования, и что, как следствие, более высокое когнитивное функционирование может в конечном итоге защитить их от последствий когнитивного старения, независимо от когнитивного резерва.

Для решения этих вопросов был предложен новый подход к операционализации когнитивного резерва. Этот подход проистекает непосредственно из операционального определения когнитивного резерва как *несоответствия между наблюдаемым и ожидаемым уровнем когнитивных нарушений, учитывая наблюдаемый уровень возрастного разрушения нейронов* (Stern, 2009). Основываясь на этом определении, данный подход предлагает операционализировать резерв как *остаток*. Действительно, в рамках статистической регрессии остаток представляет собой именно расхождение между наблюдаемыми и ожидаемыми значениями зависимой переменной в

зависимости от колебаний определенной независимой переменной. Таким образом, подход "*остаток-резерв*", впервые предложенный Ридом и коллегами (Reed et al., 2010), определяет когнитивный резерв как остаточную дисперсию в когнитивных показателях, не объясняемую наблюдаемыми уровнями возрастной нейродегенерации. Этот подход имеет ряд преимуществ: (i) он позволяет избежать вышеупомянутых проблем циркулярной логики, погрешности воспоминаний и обратной причинности; (ii) резерв, который в конечном итоге действует через нейронные механизмы, измеряется напрямую, на основе нейронных показателей, а не на основе показателей, которые оказывают косвенное влияние на функциональные и структурные уровни нейронного субстрата; (iii) резерв измеряется с помощью количественных, непрерывных и индивидуальных показателей, что позволяет проводить любой статистический анализ; (iv) резерв может быть переоценен с течением времени в динамике, на основе связанных со временем колебаний взаимосвязи между нейронным ухудшением и результирующим уровнем когнитивной деятельности. Это, в свою очередь, позволяет отслеживать траекторию развития когнитивного резерва индивида и в конечном итоге может предоставить нам измерения для корректировки вмешательства, обеспечивая более персонализированный подход к уходу за пожилыми людьми и более высокое качество жизни на поздних этапах жизни.

Метод остаточного резерва только начинает набирать популярность: первоначально он был разработан на клинической выборке людей, страдающих болезнью Альцгеймера (Reed et al., 2010). На выборках здоровых пожилых людей, не находящихся в стационарных учреждениях, он практически не воспроизводился. Важно отметить, что его эффективность еще предстоит сравнить с эффективностью традиционных подходов к определению когнитивного резерва, основанных на косвенных показателях.

2.2 Обзор научного содержания

Ниже приводится краткий обзор исследований, составляющих мой исследовательский проект.

В исследовании 1 (Del Maschio et al., 2018) мы изучали взаимосвязь между билингвизмом и успешным когнитивным старением, сравнивая уровни мозгового и когнитивного резерва у молодых и пожилых билингвов и монолингвов. Мозговой резерв был операционализирован как объем серого вещества (ОСВ) в областях сети исполнительного/языкового контроля (Abutalebi & Green, 2007; Green & Abutalebi, 2013), а когнитивный резерв измерялся по результатам выполнения фланговой задачи (*Flanker task*; Fan et al., 2005), которая позволяет задействовать исполнительный контроль. Оказалось, что билингвизм ассоциируется с повышенным мозговым резервом как у молодых, так и у старших возрастных групп, при этом билингвы демонстрировали более высокие показатели ОСВ, чем монолингвы, в областях исполнительной сети мозга. Более того, пожилые билингвы демонстрировали повышенный когнитивный резерв, превосходя монолингвов на поведенческом уровне, независимо от изменений ОСВ в исполнительной сети.

В исследовании 2 (Gallo, Novitskiy, et al., 2021) для преодоления проблем, связанных с бинарной категоризацией билингвизма (Luk & Bialystok, 2013; Mishra, 2015; Surrain & Luk, 2019) мы операционализировали билингвальный опыт как континуум, рассчитанный по трем показателям: возраст приобретения L2 (ВП), уровень владения L2 и ежедневное воздействие L2. Более того, в соответствии с теориями когнитивного резерва (см. Tucker & Stern, 2011) мы поставили вопрос, начинается ли механизм устойчивости, сглаживающий возрастные когнитивные нарушения, на ранних этапах жизни в случае билингвизма. Мы исследовали влияние индивидуальных различий в переменных на исполнительный контроль участников, как на поведенческом, так и на нейронном уровнях. Мы использовали

структурную МРТ с методом области интереса (*ROI*) и фланговую задачу (Fan et al., 2005) для проверки эффектов. Наконец, мы провели конъюнктурный анализ мозга и поведения, чтобы проверить, модулируют ли вариации билингвального опыта связь между нейронным субстратом и познанием, что было призвано явиться доказательством природы когнитивного резерва, как следует из его определения (Zahodne et al., 2013). Непрерывная операционализация билингвизма показала, что вызванная им нейропластичность может следовать обратной *u*-образной траектории, в соответствии с недавними моделями (Pliatsikas, 2020). Более того, конъюнктурный анализ повторил результаты исследования 1, показав, что польза билингвизма для развития когнитивного резерва начинается уже на ранних стадиях жизни (более подробное обсуждение см. в следующем разделе).

Закрывающее исследование 3 (Gallo, Kalpouzos, et al., 2021) выходит за рамки роли билингвизма в стимулировании успешного старения и подходит к теме когнитивного резерва с более общей точки зрения. Основной целью являлось продвижение в решении проблемы операционализации резерва. Так, на основе данных, собранных в течение 15 лет в Каролинском институте в рамках лонгитюдного исследования SNAC-K (Lagergren et al., 2004) мы вывели *полученное из остаточных данных* измерение когнитивного резерва на основе нескольких показателей структурной МРТ и когнитивных способностей. Кроме того, впервые, насколько нам известно, мы проверили потенциал этого нового показателя для прогнозирования когнитивных траекторий и заболеваемости деменцией в течение 12-летнего периода наблюдения, сравнив его с композитным индексом, основанным на косвенных признаках, который объединил в себе показатели образования, сложности работы, социальной сети и досуга. Для каждого участника мы рассчитали индивидуальный индекс когнитивного резерва, который определялся как доля дисперсии в показателях эпизодической памяти, не учитываемая составным индексом целостности мозга, с дальнейшим контролем возраста и пола. Кроме того, мы использовали моделирование методом

структурных уравнений для получения второго показателя когнитивного резерва, который объединил информацию об образовании в начале жизни, сложности работы в середине жизни и социальной сети и досуговой деятельности в конце жизни. Мы сравнили эти два показателя с точки зрения их способности предсказывать траектории когнитивного старения и заболеваемости деменцией в течение 12-летнего периода, используя линейные лонгитюдные модели со смешанными эффектами. Оба измерения предсказывали снижение когнитивных способностей с течением времени, но только новое, основанное на остаточных показателях, оказалось способным сгладить влияние нейронного повреждения на когнитивные способности и эффективно предсказать заболеваемость деменцией в течение 12-летнего периода наблюдения.

Далее более подробно рассматриваются план, результаты и выводы каждого исследования.

2.2.1 Исследование 1. Билингвизм повышает когнитивный резерв на поздних этапах жизни

В данном исследовании наша выборка состояла из четырех групп по 22 человека в каждой (всего N= 88): i) молодые взрослые монолингвы, говорящие на итальянском языке, из Милана (14 женщин; средний возраст = 20,86; SD \pm 1,64); ii) пожилые взрослые, не страдающие деменцией, говорящие на итальянском языке, из Милана (10 женщин; средний возраст = 62.05, SD \pm 5,88); iii) молодые взрослые, ранние сбалансированные билингвы из Гонконга, говорящие на кантонском (первый язык, L1) и английском (второй язык, L2) (11 женщин; средний возраст = 20,5; SD \pm 1,74); iv) пожилые взрослые, не страдающие деменцией, ранние сбалансированные билингвы из Гонконга. Половина из них говорила на кантонском как L1 и английском как L2, другая половина говорила на кантонском как L1 и мандаринском как L2 (11 женщин; средний возраст = 62,32; SD \pm 5,73). Группы билингвов и монолингвов были сопоставимы по возрасту,

полу, общему интеллекту, максимальному уровню образования и социально-экономическому статусу – тем факторам, которые, как известно, влияют на траекторию когнитивного старения (Meng & D’Arcy, 2012; Sattler et al., 2012). Участники с неврологическими или психиатрическими нарушениями в анамнезе, а также пожилые участники с показателем Mini-Mental State Examination (MMSE; Cockrell & Folstein, 2002) ≤ 27 баллов, что свидетельствует о возможном наличии легкого когнитивного расстройства (ЛКР), были исключены из исследования. Мы сравнили сопоставимые по возрасту группы как на нейроанатомическом, так и на поведенческом уровне, чтобы проверить, влияет ли билингвальный опыт на развитие мозгового и когнитивного резервов соответственно (Stern, 2009). На уровне мозга мы использовали структурную магнитно-резонансную томографию (МРТ), выполняя морфометрию на основе вокселей (MoV) с использованием метода области интереса (*ROI*), чтобы сравнить объемы мозга сети языкового контроля между группами билингвов и монолингвов (Abutalebi & Green, 2007; Green & Abutalebi, 2013). На поведенческом уровне мы использовали фланговую задачу (*Flanker task*), эталонный тест для оценки когнитивного контроля (Fan et al., 2005) и сравнения способностей к мониторингу и снижения конфликта между языковыми группами. Мы предположили, что благодаря постоянному обучению одновременному владению двумя языками, у билингвов будут наблюдаться более высокие уровни мозгового и когнитивного резервов в сети исполнительного контроля/когнитивных способностей. Мы обнаружили, что в то время, как молодые группы показали значительные различия в ОСВ только в нейронном субстрате (т.е. в мозговом резерве), пожилые билингвы показали как более высокие ОСВ, так и лучшие показатели исполнительной деятельности по сравнению с сверстниками монолингвами. Отсутствие различий в исполнительной деятельности молодых групп было объяснено разнообразием трудозатратного когнитивного опыта, который ежедневно испытывают не говорящие на двух языках молодые люди (например, работа, учеба, видеоигры, социальное

взаимодействие, вождение автомобиля и т.д.), что могло перекрыть пользу билингвизма. Этого не произошло среди пожилых участников, которые, как правило, отказываются от большинства когнитивно сложных видов деятельности на поздних этапах жизни, за исключением использования нескольких языков, которые остаются важной частью их повседневной жизни. Чтобы окончательно проверить роль билингвизма как фактора, повышающего когнитивный резерв, мы провели конъюнктурный анализ, объединив нейронные и поведенческие данные пожилых участников. С помощью этого анализа мы стремились выяснить, модулирует ли билингвизм структурную взаимосвязь между нейронной сетью исполнительных органов и поведением. Такая модуляция стала бы окончательным доказательством существования когнитивного резерва, исходя из его определения (Zahodne et al., 2013). Действительно, в то время как старшие монолингвы показали связь между более низкими уровнями ОСВ исполнительного аппарата (т.е. атрофией мозга) и производительностью исполнительного аппарата (т.е. когнитивными нарушениями), билингвы были способны оптимизировать свою производительность *независимо* от вариаций ОСВ, что позволяет сделать вывод о том, что билингвизм может поддерживать развитие когнитивного резерва и сглаживать возрастные когнитивные нарушения при наличии атрофии мозга.

2.2.2 Исследование 2. Индивидуальные различия в билингвальном опыте модулируют сеть исполнительного контроля и производительность

На основе данных молодой группы исследования 1, и приведенных ранее в обзоре литературы, свидетельства о пользе билингвизма для исполнительной сети и производительности противоречивы. Это особенно верно, когда исследуются выборки молодых взрослых. Таким образом, некоторые вопросы, касающиеся преимуществ билингвизма, остаются открытыми: когда начинает проявляться положительный эффект? Присутствует ли он уже на более ранних этапах жизни или проявляется только в период старения? Существующие теории называют возможную причину, по которой не удастся получить

последовательные результаты в молодых возрастных группах (Luk & Bialystok, 2013; Mishra, 2015; Surrain & Luk, 2019). Действительно, общая тенденция исследований билингвизма исторически заключается в том, чтобы операционализировать билингвизм, из соображений удобства, как бинарную переменную. Другими словами, несмотря на то, что билингвальные способности представляют собой спектр с различными уровнями воздействия и владения L2, различным возрастом приобретения, а также разнообразием возможных языковых комбинаций и самим количеством языков, исследователи зачастую склонны к дихотомизации такой переменной как чего-то, что либо присутствует, либо отсутствует, отдавая предпочтение групповым сравнениям (билингвы против монолингвов) перед непрерывной и индивидуализированной операционализацией би-/мультилингвального опыта. Эта тенденция снижает валидность используемых экспериментальных данных по отношению к реальному жизненному контексту, подвергая исследователя очевидному риску совершения ошибки второго рода, а также ограничивая вариативность выборки.

Чтобы преодолеть эти проблемы, в Gallo et al., 2021 мы адаптировали непрерывную операционализацию билингвального опыта по трем измерениям: ВП L2, ежедневное влияние и владение языком (далее - *факторы билингвального опыта*, ФБО), с целью изучения траекторий развития когнитивного резерва, вызванного билингвизмом, у молодых взрослых. Для этого мы собрали выборку из 22 молодых взрослых (13 женщин; средний возраст = 22,95, SD \pm 4,38), говорящих на русском как L1 и английском как L2, с разной степенью владения языком и ежедневным влиянием, а также с разным уровнем ВП L2. В остальном, мы сохранили экспериментальный дизайн, аналогичный дизайну исследования 1. Непрерывная операционализация показала интересные результаты как при анализе данных нейровизуализации, так и при анализе поведенческих данных. Анализ нейроанатомических данных показал наличие обратной *u*-образной траектории в нейропластичности, вызванной билингвизмом. Действительно, в то

время как ОСВ показывали увеличение на начальных стадиях билингвального опыта (т.е. когда ФБО изначально увеличивался, но оставался низким), при дальнейшем увеличении ФБО нейропластические изменения достигали стадии плато, чтобы в конечном итоге вернуться к уровню до билингвизма, когда билингвальный опыт достигал высокого уровня. Этот результат может быть интерпретирован только вместе с результатами анализа данных нейровизуализации и поведенческих данных. Здесь, как и в исследовании 1, мы изучили, модулируют ли различия в билингвальном опыте исполнительные структурные связи между мозгом и поведением. Наш анализ показал, что билингвизм играет роль в сглаживании этой связи: i) люди с высоким уровнем билингвального опыта показали лучшие результаты при выполнении фланговой задачи; ii) хотя у людей с низким уровнем билингвального опыта наблюдалась связь между вариациями ОСВ и уровнем производительности (т.е. более низкие ОСВ предсказывали худшие результаты), высококвалифицированные билингвы были способны оптимизировать исполнительность *независимо от* вариаций ОСВ.

Наши результаты хорошо согласуются с недавно разработанным подходом - моделью динамической реструктуризации (МДР; Pliatsikas, 2020), которая предполагает, что структуры серого вещества, связанные билингвальным языковым контролем, должны демонстрировать увеличение объема в начале процесса овладения L2, в связи с увеличением усилий, необходимых для одновременного контроля двух языков. Однако с увеличением билингвального опыта индивидуумы аффинируют исполнительную нейронную сеть с функциональной точки зрения, таким образом делая дополнительную нейронную структуру избыточной или даже ненужной. Следовательно, в процессе отказа мозг эксперта-билингва обрезает ненужный субстрат, возвращаясь структурно (но не функционально) к уровню до билингвизма. Результаты нашего анализа подтверждают предположения МДР. В заключение, принятие непрерывной

операционализации билингвального опыта позволило нам показать, что индуцированное билингвизмом развитие когнитивного резерва начинается задолго до старения, на ранних этапах жизни. Этот результат согласуется с теоретическими моделями когнитивного резерва и существующими исследованиями (Tucker & Stern, 2011).

2.2.3 Исследование 3. Как эффективно измерить когнитивный резерв? Сравнение двух подходов к операционализации когнитивного резерва

В этом лонгитюдном исследовании мы впервые изучили эффективность двух различных операционализаций когнитивного резерва для прогнозирования траекторий когнитивного старения и вероятности развития деменции. 430 пожилых людей в возрасте 60-99+ лет когнитивно здоровых на начальном этапе (с марта 2001 года по август 2004 года), наблюдались в течение 12 лет. Младшие возрастные когорты (60-72 года) повторно обследовались каждые 6 лет, старшие (78-99+ лет) - каждые 3 года (Lagergren et al., 2004). Участники проходили структурное МРТ-сканирование (Ferencz et al., 2013) и батарею когнитивных тестов (Laukka et al., 2020), а также заполняли набор анкет и давали интервью медицинским работникам, из которых был получена картина предыдущего жизненного опыта и общее состояние здоровья (Lagergren et al., 2004). На первом этапе мы использовали моделирование структурными уравнениями для получения косвенного показателя когнитивного резерва, объединив информацию об уровне образования в начале жизни, сложности работы в середине жизни, размере социальной сети и частоте проведения досуга на более поздних этапах жизни. Затем, используя моделирование с помощью структурных уравнений, мы вычислили индекс нейронной целостности, принимая во внимание шесть различных структурных показателей нейровизуализации: ОСВ всего мозга, объем гиппокампа, гиперинтенсивность белого вещества, объем боковых желудочков, количество периваскулярных пространств и количество лакун. Впоследствии мы использовали этот индекс в качестве независимой переменной в линейной

регрессионной модели, в которой в качестве зависимой переменной выступали показатели эпизодической памяти на исходном уровне, с контролем возраста и пола. Мы получили остатки этой модели, т.е. часть дисперсии показателей эпизодической памяти, не объясненную целостностью мозга, возрастом и полом, что и составило наш остаточный показатель когнитивного резерва. Такая операционализация следует из определения когнитивного резерва как несоответствия между наблюдаемыми и ожидаемыми когнитивными показателями, учитывая наблюдаемый уровень целостности мозговой ткани. Рассчитав оба показателя, мы сравнили их потенциал для прогнозирования траектории снижения когнитивных способностей и вероятности развития деменции в течение 12 лет. Хотя оба показателя были связаны со снижением когнитивных способностей с течением времени, только показатель на основе остатков сглаживал влияние нейронного ухудшения на когнитивные показатели (т.е. структурную связь между мозгом и поведением, см. исследования 1 и 2 выше) и эффективно предсказывал заболеваемость деменцией в течение 12 лет. Наши результаты показывают, что новый показатель на основе остатков может быть более прямым, индивидуальным и чувствительным к временным изменениям индикатором когнитивного резерва по сравнению с подходом, основанным на косвенных признаках.

3 Выводы

Исследования, проведенные в рамках моей кандидатской диссертации нацелены на развитие практик успешного здорового старения, освещая некоторые из лежащих в его основе механизмов и предлагая инструменты для мониторинга и вмешательства в его траекторию. В частности, в исследованиях 1 и 2 изучается роль билингвизма как фактора, который может защитить человека от возрастных когнитивных нарушений. Благодаря постоянной когнитивной тренировке, возникающей в результате одновременного управления двумя конкурирующими языковыми системами, билингвы, по-видимому, развивают когнитивный резерв, по крайней мере, начиная с позднего подросткового/молодого зрелого возраста (т.е. 18+ лет), и сохраняют его на протяжении всей жизни. Полученные результаты представляют собой ценный ресурс в нашем стареющем обществе: они не только могут позволить значительно повысить качество жизни пожилых людей, но и указывают на реальный способ избежать растущих расходов на здравоохранение, связанных со старением, которые составляют непропорционально большую часть государственных расходов на здравоохранение в большинстве стран. Таким образом, мы предлагаем политикам принять во внимание наши выводы и увеличить поддержку образовательных программ изучения иностранных языков, в том числе в пожилом возрасте, что будет иметь положительные результаты как с точки зрения общественного здравоохранения, так и с социально-экономической точки зрения.

Более того, в исследовании 3 был разработан и опробирован новый инструмент для будущих исследований с целью расширения наших знаний о когнитивном резерве и в то же время полезный для клиницистов для повышения точности диагностики, мониторинга и лечения возрастных когнитивных заболеваний. Действительно, операционализация когнитивного резерва на основе остатков имеет ряд преимуществ по сравнению с предыдущими подходами. Во-первых, это индивидуальное измерение, строго зависящее от уровня нейронной и

когнитивной целостности человека. Кроме того, это прямой показатель, который исключает косвенный вклад факторов, которые могут влиять на когнитивный резерв, но также имеют вторичные эффекты, которые не влияют на когнитивные траектории и снижают нашу способность точно оценить когнитивное здоровье (например, образование). Наконец, это измерение, чувствительное ко времени: в то время как такие показатели, как образование или сложность работы, обычно в пожилом возрасте кристаллизуются и не позволяют проводить лонгитюдную оценку уровня когнитивного резерва, подход, основанный на остаточных показателях, постоянно меняется в зависимости от колебаний нейронной целостности, например, вследствие повреждения мозга или неврологической реабилитации. Таким образом, данный подход может позволить клиницистам постоянно корректировать свою оценку и, соответственно, свои подходы к профилактике и терапии возрастных когнитивных проблем, значительно повышая эффективность здравоохранения для пожилых людей, а значит, и качество жизни людей пожилого возраста.

4 Литература

- Abutalebi, J., & Green, D. (2007). Двухязычное производство языка: Нейрокогниция языкового представления и контроля. *Журнал нейролингвистики*, 20(3), 242-275. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2006.10.003>.
- Abutalebi, J., & Green, D. W. (2016). Нейровизуализация контроля языка у билингвов: Нейронная адаптация и резерв. *Билингвизм*, 19(4), 689-698. <https://doi.org/10.1017/S1366728916000225>
- Антон, Е., Дунабейтия, Х. А., Эстевес, А., Эрнандес, Х. А., Кастильо, А., Фуэнтес, Л. Х., Дэвидсон, Д. Х., и Каррейрас, М. (2014). Существует ли двухязычное преимущество в задаче ANT? Доказательства на примере детей. *Frontiers in Psychology*, 5, 398. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00398>
- Barulli, D., & Stern, Y. (2013). Эффективность, потенциал, компенсация, поддержание, пластичность: Новые концепции когнитивного резерва. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(10), 502-509. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.08.012>
- Белосток, Е. (2017). Двухязычная адаптация: Как ум приспосабливается к опыту. *Психологический бюллетень*, 143(3), 233.
- Cockrell, J. R., & Folstein, M. F. (2002). Mini-Mental State Examination. В "*Принципах и практике гериатрической психиатрии*" (стр. 140-141). [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/0470846410.ch27\(ii\)](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/0470846410.ch27(ii))
- Косентино, С., и Стерн, Й. (2019). Учет когнитивного резерва. В L. Ravdin & H. Katzen (Eds.), *Handbook on the Neuropsychology of Aging and Dementia. Clinical Handbooks in Neuropsychology* (pp. 11-23). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93497-6_2
- Craik, F. I. M., & Salthouse, T. A. (2011). *The handbook of aging and cognition*. Психологическая пресса.

- Dekhtyar, S., Marseglia, A., Xu, W., Darin-Mattsson, A., Wang, H., & Fratiglioni, L. (2019). Генетический риск деменции смягчается когнитивным резервом: Когортное исследование. *Annals of Neurology*, 86(1), ana.25501. <https://doi.org/10.1002/ana.25501>
- Del Maschio, N., Sulpizio, S., Gallo, F., Fedeli, D., Weekes, B. S., & Abutalebi, J. (2018). Нейропластичность в течение жизни и эффекты старения у билингвов и монолингвов. *Brain and Cognition*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.06.007>
- Del Maschio, Nicola, Sulpizio, S., Toti, M., Caprioglio, C., Del Mauro, G., Fedeli, D., & Abutalebi, J. (2020). Использование второго языка, а не знание второго языка связано с изменениями в микроструктуре белого вещества. *Journal of Cultural Cognitive Science*, 4(2), 165-175. <https://doi.org/10.1007/s41809-019-00039-z>
- DeLuca, V., Rothman, J., Bialystok, E., & Pliatsikas, C. (2019). Переопределение двуязычия как спектра опыта, который по-разному влияет на структуру и функцию мозга. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(15), 7565 LP - 7574. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811513116>
- Дуреман, И. (1960). SRB:1. *Стокгольм, Швеция: Psykologiförlaget.*
- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). Активация сетей внимания. *NeuroImage*, 26(2), 471-479. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.004>
- Ferencz, B., Laukka, E. J., Lövdén, M., Kalpouzos, G., Keller, L., Graff, C., Wahlund, L.-O., Fratiglioni, L., & Bäckman, L. (2013). Влияние полиморфизмов APOE и TOMM40 на объем гиппокампа и эпизодическую память в пожилом возрасте. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(May), 198. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00198>
- Gallo, F., DeLuca, V., Prystauka, Y., Voits, T., Rothman, J., & Abutalebi, J. (2022).

- Билингвизм и старение: Последствия для (задержки) нейрокогнитивного спада. In *Frontiers in Human Neuroscience* (Vol. 16). <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2022.819105>
- Gallo, F., Kalpouzos, G., Laukka, E. J., Wang, R., Qiu, C., Bäckman, L., Marseglia, A., Fratiglioni, L., & Dekhtyar, S. (2021). Когнитивные траектории и риск деменции: сравнение двух показателей когнитивного резерва. In *Frontiers in Aging Neuroscience* (Vol. 13, p. 540). <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnagi.2021.737736>
- Галло, Ф., Кубиак, Ж., и Мячиков, А. (2022). Add Bilingualism to the Mix: L2 Proficiency Modulates the Effect of Cognitive Reserve Proxies on Executive Performance in Healthy Aging . In *Frontiers in Psychology* (Vol. 13). <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2022.780261>
- Gallo, F., Myachykov, A., Shtyrov, Y., & Abutalebi, J. (2020). Когнитивный и мозговой резерв у билингвов: обзор области и объяснительные механизмы. *Журнал культурной когнитологии*, 4(2), 127-143. <https://doi.org/10.1007/s41809-020-00058-1>
- Gallo, F., Novitskiy, N., Myachykov, A., & Shtyrov, Y. (2021). Индивидуальные различия в двуязычном опыте модулируют сеть исполнительного контроля и производительность: поведенческие и структурные нейровизуализационные доказательства. *Билингвизм: Language and Cognition*, 24(2), 293-304. <https://doi.org/DOI: 10.1017/S1366728920000486>.
- Газер, К., и Данке, Р. (2016). CAT-a computational anatomy toolbox for the analysis of structural MRI data. *Hbm*, 2016, 336-348.
- Гатерколь, В. К. М., Томас, Е. М., Кеннеди, И., Прайс, К., Янг, Н., и Виньяс-Гуаш, Н. (2014). Влияет ли доминирование языка на когнитивные показатели у билингвов? Данные за всю жизнь от дошкольников до пожилых людей по

сортировке карточек, Саймону и металингвистическим задачам. *Frontiers in Psychology*, 5, 11.

Голд, Б. Т. (2015). Пожизненный билингвизм и нейронный резерв против болезни Альцгеймера: Обзор результатов и потенциальных механизмов. *Behavioural Brain Research*, 281, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.12.006>

Грин, Д. В., и Абуталеби, Дж. (2013). Языковой контроль у билингвов: Гипотеза адаптивного контроля. *Журнал когнитивной психологии*, 25(5), 515-530. <https://doi.org/10.1080/20445911.2013.796377>

Эрве-Адельман, А., Егорова, Н., и Голестани, Н. (2018). Beyond bilingualism: multilingual experience correlates with caudate volume. *Brain Structure and Function*, 223(7), 3495-3502. <https://doi.org/10.1007/s00429-018-1695-0>.

Kontis, V., Bennett, J. E., Mathers, C. D., Li, G., Foreman, K., & Ezzati, M. (2017). Будущая продолжительность жизни в 35 промышленно развитых странах: прогнозы с использованием ансамбля байесовских моделей. *The Lancet*, 389(10076), 1323-1335. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32381-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32381-9).

Kroll, J. F., Bobb, S. C., & Hoshino, N. (2014). Два языка в голове: двуязычие как инструмент для исследования языка, познания и мозга. *Current Directions in Psychological Science*, 23(3), 159-163. <https://doi.org/10.1177/0963721414528511>

Kroll, J. F., Dussias, P. E., Vice, K., & Perrotti, L. (2015). Билингвизм, разум и мозг. *Annual Review of Linguistics*, 1, 377-394. <https://doi.org/10.1146/annurev-linguist-030514-124937>

Лагергрэн, М., Фратильони, Л., Халлберг, И. Р., Берглунд, Я., Эльмстол, С., Хагберг, Б., Холст, Г., Реннемарк, М., Съелунд, Б. М., Торслунд, М., Вибберг, И., Винблад, Б., и Вимо, А. (2004). Продольное исследование, объединяющее данные о населении, уходе и социальных услугах. Шведское национальное исследование по проблемам старения и ухода (SNAC). *Клинические и*

экспериментальные исследования старения, 16(2), 158-168.
<https://doi.org/10.1007/BF03324546>

Laukka, E. J., Köhncke, Y., Papenberg, G., Fratiglioni, L., & Bäckman, L. (2020). Комбинированное генетическое влияние на снижение эпизодической памяти у пожилых людей без деменции. *Нейропсихология*, 34(6), 654-666.
<https://doi.org/10.1037/neu0000637>

Laukka, E. J., Lövdén, M., Herlitz, A., Karlsson, S., Ferencz, B., Pantzar, A., Keller, L., Graff, C., Fratiglioni, L., & Bäckman, L. (2013). Генетические эффекты на когнитивное функционирование в пожилом возрасте: Популяционное исследование. *Психология и старение*, 28(1), 262-274.
<https://doi.org/10.1037/a0030829>

Li, P., Legault, J., & Litcofsky, K. A. (2014). Нейропластичность как функция изучения второго языка: Анатомические изменения в мозге человека. *Cortex*, 58, 301-324. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.05.001>

Линденбергер, У. (2014). Когнитивное старение человека: Корректирующая удача? В журнале *Science* (том 346, выпуск 6209, стр. 572-578). Американская ассоциация содействия развитию науки. <https://doi.org/10.1126/science.1254403>.

Luk, G., & Bialystok, E. (2013). Билингвизм не является категориальной переменной: Взаимодействие между знанием языка и его использованием. *Журнал когнитивной психологии (Хоув, Англия)*, 25(5), 605-621.
<https://doi.org/10.1080/20445911.2013.795574>.

Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: графический конструктор экспериментов с открытым исходным кодом для социальных наук. *Методы исследования поведения*, 44(2), 314-324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>

Менг, Х., и Д'Арси, К. (2012). Образование и деменция в контексте гипотезы

когнитивного резерва: систематический обзор с мета-анализом и качественным анализом. *PloS One*, 7(6), e38268-e38268.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038268>

Мишра, Р. К. (2015). Давайте не будем забывать о владении языком и культурных вариациях, связывая двуязычие с исполнительным контролем. *Билингвизм: Language and Cognition*, 18(1), 39-40. <https://doi.org/10.1017/S1366728914000455>

Nilsson, L. G., Bäckman, L., Erngrund, K., Nyberg, L., Adolfsson, R., Bucht, G., Karlsson, S., Widing, M., & Winblad, B. (1997). Проспективное когортное исследование бетулы: Память, здоровье и старение. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 4(1), 1-32. <https://doi.org/10.1080/13825589708256633>

Паап, К. Р., Джонсон, Х. А., и Сави, О. (2015). Двуязычные преимущества в исполнительном функционировании либо не существуют, либо ограничиваются очень специфическими и неопределенными обстоятельствами. *Cortex*, 69, 265-278.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.04.014>

Перани, Д., и Абуталеби, Дж. (2015). Двуязычие, деменция, когнитивный и нейронный резерв. *Current Opinion in Neurology*, 28(6).
https://journals.lww.com/co-neurology/Fulltext/2015/12000/Bilingualism,_dementia,_cognitive_and_neural.12.aspx.

Плиацikas, К. (2020). Понимание структурной пластичности в двуязычном мозге: Модель динамической реструктуризации. *Билингвизм: Language and Cognition*, 23(2), 459-471. <https://doi.org/DOI: 10.1017/S1366728919000130>.

Рид, Б. Р., Мунгас, Д., Фариас, С. Т., Харви, Д., Бекетт, Л., Видаман, К., Хинтон, Л., и ДеКарли, К. (2010). Измерение когнитивного резерва на основе декомпозиции дисперсии эпизодической памяти. *Brain*, 133(8), 2196-2209.

<https://doi.org/10.1093/brain/awq154>

Salthouse, T. A., & Babcock, R. L. (1991). Decomposing Adult Age Differences in Working Memory. *Developmental Psychology*, 27(5), 763-776. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.27.5.763>

Sattler, C., Toro, P., Schönknecht, P., & Schröder, J. (2012). Когнитивная активность, образование и социально-экономический статус как факторы профилактики легкого когнитивного расстройства и болезни Альцгеймера. *Psychiatry Research*, 196(1), 90-95. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2011.11.012>

StataCorp. (2017). *Статистическое программное обеспечение Stata: Release 15. Колледж-Стейшн, штат Техас: StataCorp LLC.*

Стерн, Й. (2002). Что такое когнитивный резерв? Теория и исследовательское применение концепции резерва. *Журнал Международного нейропсихологического общества*, 8(3), 448-460. <https://doi.org/DOI:10.1017/S1355617702813248>.

Стерн, Й. (2009). Когнитивный резерв. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015–2028. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004>

Штерн, Й., Ареназа-Уркихо, Э. М., Бартрез-Фаз, Д., Бельвиль, С., Кантильон, М., Четелат, Г., Эверс, М., Францмейер, Н., Kempermann, G., Kremen, W. S., Okonkwo, O., Scarmeas, N., Soldan, A., Udeh-Momoh, C., Valenzuela, M., Vemuri, P., & Vuoksima, E. (2020). Whitepaper: Определение и исследование когнитивного резерва, резерва мозга и поддержания мозга. *Alzheimer's & Dementia*, 16(9), 1305-1311. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2018.07.219>

Surrain, S., & Luk, G. (2019). Описание билингвов: Систематический обзор ярлыков и описаний, использованных в литературе в период 2005-2015 гг. *Билингвизм: Language and Cognition*, 22(2), 401-415. <https://doi.org/DOI:10.1017/S1366728917000682>.

- Команда, Р. К. (2013). *R: язык и среда для статистических вычислений*.
- Такер, А. М., и Стерн, Й. (2011). Когнитивный резерв при старении. *Current Alzheimer Research*, 8(4), 354-360. <https://doi.org/10.2174/156720511795745320>
- Вальховд К.Б., Вестли Л.Т., Амлиен И., Эспесет Т., Рейнванг И., Раз Н., Агарц И., Салат Д.Х., Грече Д.Н., Фишл Б., Дейл А.М., Фьелл А.М. (2011). Последовательные нейроанатомические различия в объеме, связанные с возрастом, в различных выборках. *Нейробиология старения*, 32(5), 916-932. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2009.05.013>
- Вимо, А., Герше, М., Али, Г.-К., Ву, Ю.-Т., Прина, А. М., Винблад, Б., Йонссон, Л., Лю, З., и Принс, М. (2017). Мировые затраты на деменцию в 2015 году и сравнение с 2010 годом. *Alzheimer's & Dementia : Журнал Ассоциации Альцгеймера*, 13(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2016.07.150>
- Zahodne, L. B., Manly, J. J., Brickman, A. M., Siedlecki, K. L., Decarli, C., & Stern, Y. (2013). Количественная оценка когнитивного резерва у пожилых людей путем разложения дисперсии эпизодической памяти: Репликация и расширение. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 19(8), 854-862. <https://doi.org/10.1017/S1355617713000738>
- Заззо, Р. (1974). Test des deux barrages. *Actualités pedagogiques et psychologiques*. *Невшатель: Delachaux et Nestlé*.
- Zhang, H., Wu, Y. J., & Thierry, G. (2020). Двуязычие и старение: Целенаправленный нейробиологический обзор. *Journal of Neurolinguistics*, 54, 100890. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2020.100890>