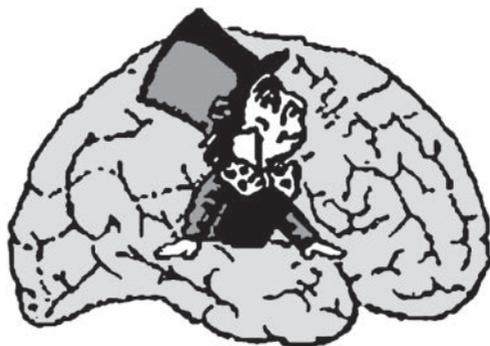


КОГНИТИВНАЯ НАУКА В МОСКВЕ
НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



**МАТЕРИАЛЫ
КОНФЕРЕНЦИИ
2017**

ПОД РЕД. Е.В. ПЕЧЕНКОВОЙ, М.В. ФАЛИКМАН

УДК 159.9

ББК 81.002

К57

К57 Коллективный

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 15 июня 2017 г.

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман. – М.: ООО «Буки Веди», ИППИП. 2017 г. – 596 стр.

Электронная версия

ISBN 978-5-4465-1509-7

УДК 159.9

ББК 81.002

ISBN 978-5-4465-1509-7

© Авторы статей, 2017

ПОНИМАНИЕ СИНТАКСИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ: СВЯЗЬ ПРАВИЛЬНОСТИ И СКОРОСТИ С ВОЗРАСТОМ И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОВОДЯЩИХ ПУТЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

С. А. Малютина* (1), Э. Л. Погосбекян (2), А. И. Баталов (2), М. В. Иванова (1)
smalyutina@hse.ru

1 – НИУ ВШЭ, Москва; 2 – НИИ нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко, Москва

Аннотация. Представляется, что возрастные и индивидуальные различия характерны не только для таких высших психических функций, как восприятие, память, внимание, мышление, но и для языковой обработки (речи), где они пока изучены гораздо меньше. Например, в отношении синтаксической обработки до сих пор нет окончательного ответа, нарушается ли с возрастом только ее скорость, либо также правильность. Целью данной работы было изучить роль возраста и индивидуальных различий в синтаксической обработке у взрослых людей, а именно: исследовать влияние возраста на скорость чтения и правильность понимания синтаксически сложных предложений, а также выявить нейрональные корреляты индивидуальных различий в этих показателях с учетом фактора возраста (в пределах белого вещества головного мозга, для чего проводилось диффузионно-взвешенное сканирование мозга и статистическим методом TBSS анализировалась фракционная анизотропия проводящих путей). Было обнаружено статистически значимое замедление чтения с возрастом; однако возрастных изменений в правильности обнаружено не было. Таким образом, и в синтаксической обработке, как во многих других когнитивных функциях, замедление скорости может рассматриваться как компенсаторный механизм, позволяющий сохранять успешность обработки. Значимых нейрональных коррелятов индивидуальных различий в успешности синтаксической обработки обнаружено не было, что может быть обусловлено маленьким размером выборки.

Ключевые слова: диффузионно-взвешенная трактография, TBSS, языковая обработка, синтаксическая обработка, понимание предложений, возрастные изменения, нормальное старение

Исследование было поддержано РФФИ, проект № 16-06-00400.

В когнитивной науке уделяется большое внимание индивидуальным различиям в восприятии, памяти, внимании, мышлении. Однако, если не считать социолингвистических исследований, сравнительно мало изучена тема индивидуальных различий в языковой обработке (речи). Между тем представляется, что таковые различия имеются и что успешность языковой обработки представляет собой континуум даже среди неврологически здоровых людей без нарушений речи.

Один из факторов, создающих различия в языковой обработке среди взрослых людей без нарушений речи, — это возраст. С возрастом происходят изменения не только в восприятии, памяти, внимании, мышлении, но и в языковых функциях: восприятии речи на слух, лексическом поиске, построении дискурса (Light, Thornton, 2006). Однако исследования языковой обработки на синтаксическом уровне (то есть способности к построению и анализу грамматической структуры предложений и фраз) показывают противоречивые результаты. В подавляющем большинстве работ обнаруживается возрастное замедление синтаксической обработки, но далеко не всегда снижается ее правильность: например, в эксперименте (Caplan, Waters, 2003) у пожилых участников была понижена правильность суждений лишь об отдельных типах предложений, а в эксперименте (Wingfield et al., 2003) снижено понимание лишь в затрудненных условиях восприятия речи. Таким образом, остается актуальной задача эмпирического тестирования того, снижается ли с возрастом правильность, а не только скорость синтаксической обработки.

Однако на успешность языковой обработки могут влиять и индивидуальные различия, независимые от возраста. Представляет интерес, каковы нейрональные корреляты этих различий — можно ли выделить нейрональный субстрат, структурные или функциональные характеристики которого связаны с успешностью языковой обработки. Часто для этого используются функциональные методики: например, электроэнцефалография, функциональная магнитно-резонансная томография (см. обзор Prat, 2011). Исследования же структурных различий, как в работе (Antonenko et al., 2013), остаются менее многочисленными, хотя последнее время все больше и больше подчеркивается роль структуры проводящих путей головного мозга в реализации когнитивных функций.

Таким образом, цель данной работы — изучить роль возраста и индивидуальных различий в синтаксической обработке у взрослых людей, а именно: протестировать влияние возраста на скорость чтения и правильность понимания синтаксически сложных предложений, а также исследовать нейрональные корреляты индивидуальных различий в этих показателях (в пределах белого вещества, то есть проводящих путей) с учетом фактора возраста.

Методика

Участники. В исследовании приняли участие 19 взрослых добровольцев (9 женщин и 10 мужчин; средний возраст 44.3 года, стандартное отклонение 10.3, диапазон 27–59 лет) без каких-либо неврологических нарушений либо нарушений речи или чтения. Все участники были правшами и носителями русского языка как единственного родного.

Процедура. Добровольцы подписывали форму информированного согласия и получали инструкции, а затем проходили магнитно-резонансную томографию (МРТ) головного мозга. МРТ проводилось на томографе General Electrics, 3 Тесла: сначала проводилось T1-взвешенное анатомическое сканирование (в данном анализе не использовалось), затем диффузионно-взвешенное сканирование (два повторения с противоположными направлениями

фазокодирующего градиента; размер вокселя $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ мм, поле обзора 104×104 мм, 64 среза, TR 14 000 мс, TE 104.9 мс, 64 направления диффузионного градиента с фактором диффузии 1500 с/мм^2 , 9 объемов с фактором диффузии 0 с/мм^2).

В тот же день (до или после МРТ) добровольцы выполняли языковое задание, запрограммированное на компьютере с помощью программы DMDX. Использовалась методика чтения с саморегуляцией скорости: добровольцы пословно читали предложения, нажимая клавишу «Пробел», чтобы перейти к следующему слову (в каждый момент времени на экране находилось одно слово, предложение целиком не демонстрировалось). После каждого предложения на экране появлялся вопрос на понимание и два варианта ответа, ответ можно было выбрать нажатием левой или правой стрелки на клавиатуре. Выполнению задания предшествовала тренировка; само задание занимало около 20 минут и выполнялось с тремя короткими паузами для отдыха.

Стимулы. В задании на понимание предложений использовалось 100 предложений. Из них было 74 предложения со сложной синтаксической структурой; в вопросах к ним требовалось выбрать, какое из двух упомянутых в предложении существительных выступало в той или иной синтаксической роли (например, предложение: *Гости посмотрели на няню малышки, державшую куклу*, вопрос: *На кого посмотрели гости?*, варианты ответа: *на няню / на малышку*). Таким образом, для ответа на вопрос требовался правильный синтаксический анализ предложения и приписывание правильных синтаксических ролей существительным (каждое из них семантически подходило на обе синтаксические роли, поэтому для правильного ответа требовался именно синтаксический анализ). Синтаксические структуры были разнообразными, их сложность обеспечивалась следующими элементами предложения: генитивная группа и зависимый от одного из ее элементов причастный оборот (30 предложений), относительные придаточные предложения (18 предложений), рефлексивные местоимения (10 предложений), обратимость субъекта и объекта, в том числе в сочетании с неканоническим порядком слов субъект–глагол–объект (16 предложений). Остальные 26 предложений были филлерами произвольной синтаксической структуры, где вопрос задавался к произвольному элементу предложения, а второй из вариантов ответа был словом, не упомянутым в предложении (например, предложение: *За этот год пятеро студентов перевелись на филологический факультет с исторического*, вопрос: *Сколько студентов перевелись?*, варианты ответа: *Пятеро/Четверо*).

Анализ данных. В языковом задании для каждого участника подсчитывалась правильность ответов на вопросы (общая и отдельно для каждого типа предложений), а также медианная скорость чтения сегментов предложений. Были подсчитаны корреляции Пирсона между этими переменными и возрастом.

МРТ-данные сначала подвергались предобработке: данные двух повторений совмещались с помощью алгоритма торип в программе FSL, далее проводилась коррекция движения и вихревых токов в программе ExploreDTI (Leemans et al., 2009), затем извлекались карты фракционной анизотропии.

Статистическая обработка проводилась на основании этих карт с помощью процедуры TBSS (англ. tract-based spatial statistics; Smith et al., 2006) в программе FSL. Метод TBSS позволяет обнаружить участки белого вещества, значения фракционной анизотропии в которых связаны с теми или иными переменными. В данном случае были построены следующие статистические модели (ковариаты включались в анализ для того, чтобы исключить эффект различий по ним при анализе эффекта предикторов): 1) предиктор – возраст, ковариата – пол; 2) предиктор – общая правильность понимания, ковариаты – возраст и пол; 3) предиктор – правильность понимания в типе предложений, оказавшемся наиболее сложным по результатам анализа языкового задания, ковариаты – возраст и пол. Для статистической коррекции во всех моделях использовался метод TFCE (англ. threshold-free cluster enhancement). Модель, тестирующая эффект скорости чтения с учетом пола и возраста как ковариат, не тестировалась из-за коллинеарности возраста и скорости чтения.

Результаты

Медианная скорость чтения сегментов предложений составила в среднем 607 мс ($SD=235$ мс, диапазон 307–1105 мс). Средняя правильность ответов на вопросы составила 87% ($SD=6\%$, диапазон 76–97%). При анализе по типам предложений наиболее сложным типом предложений оказались предложения с так называемым «поздним закрытием» (с причастным оборотом, относящимся к зависимому существительному в составе генитивной именной группы: *Репортеры общались с партнером предпринимателя, подавшего иск*): в них средняя правильность составила 60% ($SD=17\%$, диапазон 40–100%). Возраст обнаружил значимую корреляцию с медианной скоростью чтения ($r=.72$, $p<.001$), но не с правильностью: ни общей ($r=.03$, $p=.90$), ни правильностью в наиболее сложном типе предложений ($r=.26$, $p=.28$).

Что касается нейрональных коррелятов этих параметров, то при анализе методом TBSS более старший возраст был связан со снижением фракционной анизотропии в широкой сети проводящих путей, распределенной по полушариям и долям головного мозга. Однако не было обнаружено значимых корреляций фракционной анизотропии с индивидуальными показателями понимания предложений: ни с общей правильностью, ни с правильностью в наиболее сложном типе предложений.

Обсуждение и выводы

Исследование проводилось с целью изучить возрастные и индивидуальные различия в понимании синтаксически сложных предложений, а именно протестировать, влияет ли возраст на скорость и правильность понимания, а также выявить нейрональные корреляты этих показателей, независимые от фактора возраста и отражающие индивидуальные различия.

На поведенческом уровне было показано, что с возрастом замедляется скорость чтения предложения. Этот результат ожидаем на фоне обширной

литературы, демонстрирующей возрастное замедление как языковой обработки, так и других когнитивных процессов (Light, Thornton, 2006). Однако интересно, что корреляции между возрастом и правильностью понимания обнаружено не было (ни для общей правильности, ни для правильности понимания наиболее сложного типа предложений). Таким образом, можно рассматривать снижение скорости синтаксической обработки как компенсаторный механизм (осознанный или автоматический), позволяющий поддерживать ее успешность.

Нейрональных коррелятов индивидуальных различий в языковой обработке обнаружено не было: несмотря на общую валидность метода TBSS, подтверждаемую ожидаемым значимым эффектом возраста, нельзя исключить, что размер выборки оказался недостаточным для обнаружения менее выраженных различий в структуре проводящих путей.

Литература

Antonenko D., Brauer J., Meinzer M., Fengler A., Kerti L., Friederici A.D., Flöel A. Functional and structural syntax networks in aging // *NeuroImage*. 2013. Vol.83. P.513–523. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.07.018

Caplan D., Waters G. The relationship between age, processing speed, working memory capacity, and language comprehension // *Memory*. 2005. Vol.13. No.3–4. P.403–413. doi:10.1080/09658210344000459

Leemans A., Jeurissen B., Sijbers J., Jones D.K. ExploreDTI: A graphical toolbox for processing, analyzing, and visualizing diffusion MR data // *Proceedings of the 17th Scientific Meeting, International Society for Magnetic Resonance in Medicine*. Honolulu, USA, 2009. P.3537–3537.

Light L., Thornton R. Language Comprehension and Production in Normal Aging // *Handbook of the Psychology of Aging* / J.E. Birren, K.W. Schaie (Eds.). Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2006. P.261–287. doi:10.1016/b9-78-012101-2/64950-015x

Prat C.S. The brain basis of individual differences in language comprehension abilities // *Language and Linguistics Compass*. 2011. Vol.5. No.9. P.635–649. doi:10.1111/j.1749-818x.2011.00303.x

Smith S.M., Jenkinson M., Johansen-Berg H., Rueckert D., Nichols T.E., Mackay C.E., Watkins K.E., Ciccarelli O., Cader M.Z., Matthews P.M., Behrens T.E.J. Tract-based spatial statistics: Voxelwise analysis of multi-subject diffusion data // *NeuroImage*. 2006. Vol.31. No.4. P.1487–1505. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.02.024

Wingfield A., Peelle J.E., Grossman M. Speech rate and syntactic complexity as multiplicative factors in speech comprehension by young and older adults // *Aging, Neuropsychology, and Cognition (Neuropsychology, Development and Cognition: Section B)*. 2003. Vol.10. No.4. P.310–322. doi:10.1076/anec.10.4.310.28974

Comprehension of Syntactically Complex Sentences: How are Speed and Accuracy Related to Age and Characteristics of White-Matter Tracts?

Malyutina S.* (1), Pogosbekyan E. (2), Batalov A. (2), Ivanova M. (1)

smalyutina@hse.ru

1 – National Research University Higher School of Economics, Moscow;

2 – Burdenko Neurosurgery Institute, Moscow

Abstract. Age-related changes in language processing have not yet been as well-studied as those in perception, memory, attention or cognition. Specifically with regard to syntactic processing, it is still debatable whether only the processing speed or also accuracy decreases with age. The present study investigated the effect of age and individual differences on syntactic processing in healthy adults. Specifically, we tested the effect of age on the speed of reading syntactically complex sentences and the accuracy of their comprehension, and explored the neural correlates of individual differences in speed and accuracy when taking age into account. The analysis was limited to white matter and used diffusion tensor imaging and tract-based spatial statistics to analyze the fractional anisotropy of white-matter tracts. Reading speed was found to become slower with age; however, sentence comprehension accuracy was unaffected by age. Thus, similar to the processing speed decrease in many other cognitive domains, a decrease in sentence processing speed seems to be a compensatory mechanism that ensures that processing accuracy is maintained. The study did not find any significant correlates of individual differences in syntactic processing accuracy, which is likely due to our small sample size.

Keywords: diffusion tensor imaging, TBSS, language processing, syntactic processing, sentence comprehension, age-related cognitive changes, healthy aging