



МРНТИ 34.39.17

Обзорная статья

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-146-1-103-113>

Возрастные особенности показателей структурной МРТ головного мозга и методы их квантификации

О.Ю. Кабенова¹, Р. Шугждейте², А.М. Кустубаева^{1*}

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Университет Кэмбридж, Кэмбридж, Великобритания

*Автор для корреспонденции: almkusto@kaznu.kz

Аннотация. Понимание формирования траекторий структурного развития головного мозга является важной научной задачей для выявления закономерностей и прогнозирования этапов созревания мозга. В этом обзоре систематически рассматриваются исследования анатомического развития головного мозга детей и подростков на основе структурной магнитно-резонансной томографии. Литературные данные имеют разрозненный характер, связанный с демографическими данными, такими, как пол и возраст, а также с методическими подходами морфометрии. Результаты большинства исследований указывают на гетерохронные процессы созревания в разных участках головного мозга. Во многих исследованиях были выявлены половые различия, отражающихся в более высоких значениях объемных показателей у представителей мужского пола. Проанализированы современные методы квантификации структурной магнитно-резонансной томографии, позволяющие определить значение более двухсот параметров. Определены преимущества поверхностной морфометрии с использованием программного обеспечения FreeSurfer для квантификации данных структурной магнитно-резонансной томографии. Обоснована необходимость проведения дальнейших экспериментальных исследований возрастных изменений показателей поверхностной морфометрии в соотношении с эмоционально-когнитивными функциями у детей с 7 до 20 лет.

Ключевые слова: развитие головного мозга, морфология головного мозга, структурная магнитно-резонансная томография, поверхностная морфометрия (SBM), половые различия, возрастные различия, FreeSurfer.

Введение

Исследование возрастных особенностей головного мозга (ГМ) является актуальной задачей в нейронауке для возможности своевременного предупреждения отклонений от нормального развития. Использование метода структурной магнитно-резонансной томографии (МРТ) расширило потенциал для понимания механизмов созревания ГМ человека. Проведенные МРТ исследования с применением современных методов анализа, таких, как воксельная и поверхностная морфометрия, за последние десятилетия существенно продвинули знания в этой области. Применение более точных методов квантификации позволили определить возрастные характеристики структурных показателей ГМ: общие объемы серого и белого вещества и объемы подкорковых структур, площадь, толщина, плотность отдельных участков коры головного мозга. Несмотря на это, для формирования четких представлений о закономерностях развития ГМ необходимы новые исследования, способные прогнозировать динамику неразрывного процесса развития ГМ.

В данной статье мы предоставляем краткий обзор основных научных исследований в данной области, предварительно раскрываем только основные подходы к анализу структурной МРТ головного мозга, а также предоставляем некоторые методические данные проведенного нами МРТ исследования развития головного мозга у детей и подростков в возрасте 7-20 лет.

Методы

Обзор литературы был проведен с использованием базы данных PubMed 20 марта 2023 года. Ключевыми словами для поиска были следующие термины: «анатомия мозга», «развитие головного мозга», «МРТ», «FreeSurfer». Статьи, описывающие половые и возрастные особенности развития головного мозга, были отобраны, проанализированы и обобщены.

Результаты

Человеческий мозг претерпевает динамические структурные изменения в процессе развития, которые продолжаются в раннем взрослом возрасте и за его пределами. Интересно, что такие факторы, как пол, когнитивные способности или психические расстройства, часто в большей степени связаны с изменениями в траекториях развития областей мозга, чем с различиями в структуре мозга на любом этапе развития [1,2,3,4,5]. В таблице 1 приведены научные публикации, проанализированные для написания данной статьи, найденные по поиску в системе PubMed с ключевыми словами «анатомия мозга», «развитие головного мозга», «МРТ», «FreeSurfer».

По результатам лонгитюдного исследования развития ГМ в возрасте от 4 до 24 лет, Giedd с соавторами (1999) выявили линейное увеличение объема белого вещества (БВ), тогда как изменение объема серого вещества (СВ) коры головного мозга (КГМ)

оказались нелинейными, демонстрируя тенденцию его увеличения до подросткового возраста с последующим уменьшением в постподростковом периоде. Интересно, что объемы СВ разных долей КГМ достигали своих пиковых значений в разном возрасте: во фронтальной и теменной долях относительный максимум достигался к 12 годам, в височной - примерно в 16 лет, в затылочной доле рост продолжался до 20 лет [1]. Lange с соавторами (2012) выявил возрастные особенности уменьшения объема СВ и увеличения БВ. При этом наблюдается левосторонняя асимметрия в затылочном СВ и БВ, височном БВ, хвостом ядре и бледном шаре, а в височной доле СВ была выявлена правосторонняя асимметрия [6]. Исследуя траектории развития ГМ, Wierenga с соавторами (2016) установил, что в большинстве участков толщина коры с возрастом линейно уменьшалась, в то время как объем коры и площадь поверхности демонстрировали криволинейные траектории. В среднем максимальная площадь поверхности коры головного мозга была достигнута позже максимального объема в процессе развития [2]. Ducharme с соавторами (2016), исследуя траектории развития ГМ, установил, что большинство областей мозга показали линейное уменьшение толщины КГМ. В основном в височно-теменных областях обоих полушарий и в правой префронтальной коре пики толщины приходились на 8 лет или ранее [3]. Lange с соавторами провел крупномасштабное исследование с использованием полностью автоматизированных аналитических подходов к МРТ данным 200 здоровых детей и пришел к выводу, что глобальные закономерности развития были очевидны как в сером, так и в белом веществе: серое вещество уменьшалось, а белое вещество значительно увеличивалось с возрастом. Потеря серого вещества была наиболее выражена в теменных долях и наименее выражена в поясной извилине и в задних височных областях. Увеличение объема белого вещества с возрастом было почти равномерным, с акцентом на пирамидальный тракт [7].

Таблица 1

**Основные исследования возрастных изменений структурных показателей
головного мозга с применением МРТ**

№	Год	Авторы	Выборка	Метод анализа МРТ данных	МРТ сканирование	Полученные параметры
1	2011	N. Lange	4-18 летние, N=433	Воксельная морфометрия (VBM)	GE Signa 1.5T	общие и отдельные объемы ГМ
2	1999	Jay N. Giedd и др.	4-24 летние, N=145	Воксельная морфометрия (VBM)	GE Signa 1.5T	парцелляция объемов серого и белого вещества головного мозга
3	2004	Jay N.Giedd	4-18 летние, N=161	Воксельная морфометрия (VBM)	GE Signa 1.5T	парцелляция объемов серого и белого вещества головного мозга

4	2011	P. Shaw и др.	7-19 летние, N=171	Поверхностная морфометрия (SBM)	GE Signa 1.5T	парцелляция объемов, площади и толщины коры головного мозга
5	2006	P. Shaw и др.	7-19 летние, N=307	Поверхностная морфометрия (SBM)	GE Signa 1.5T	парцелляция толщины коры головного мозга
6	2021	R. M Brouwer и др.	9-23 летние, N = 305	Воксельная морфометрия (VBM) и поверхностная морфометрия (SBM)	Philips Achieva 3 T	общие и отдельные объемы ГМ, парцелляция объемов, площади и толщины коры головного мозга
7	2010	N.Lange и др.	4-18 летние, N = 285	Воксельная морфометрия (VBM)	GE Signa 1.5T	общие и отдельные объемы ГМ
8	1997	N.Lange и др.	4-20 летние, N= 115	Воксельная морфометрия (VBM)	GE Signa 1.5T	общие и отдельные объемы ГМ
9	2007	M. Wilke и др.	5-18 летние, N=200	Воксельная морфометрия SPM99 MATLAB	Bruker Biospec 30/60 3T	общие и отдельные объемы ГМ
10	2016	S. Ducharme и др.	4-22 летние, N = 954	Поверхностная морфометрия (SBM), CIVET	GE Signa 1.5T	парцелляция толщины коры головного мозга
11	2016	K. L Mills и др.	8-30 летние, N=391	Поверхностная морфометрия, FreeSurfer	GE Signa 1.5T	общие и отдельные объемы ГМ
12	2016	N. Vijayakumar и др.	11-20 летние, N=90	Поверхностная морфометрия, FreeSurfer	GE Signa 3T	парцелляция объемов, площади и толщины коры головного мозга
13	2014	L. M Wierenga и др.	7-23 летние, N=135	Поверхностная морфометрия, FreeSurfer	GE Signa 1.5T	парцелляция площади и толщины коры головного мозга

Исследуя МРТ нормального развития мозга от 4 до 18 лет, исследователи отмечают, что общий объем головного мозга значимо больше у мужской популяции по сравнению с женской [6]. Harvey с соавторами (1990) установил, что взаимосвязь между размером мозга и размером тела у людей слабая [8]. Однако было установлено, что общий объем головного мозга (ОГМ) на 12% выше у мужчин, чем у женщин.

При этом раннее уменьшение объема коры головного мозга (КГМ) в сенсомоторной зоне и позднее в дорсолатеральной префронтальной коре не зависит от половых различий [9]. Также было установлено, что развитие ГМ происходит по одинаковой схеме как у представителей женского, так и мужского пола, однако, в среднем, с опережением у первых [10]. Lange (2011), исследуя МРТ нормального развития мозга от 4 до 18 лет, определил наличие небольшой систематической ассоциации объемов мозговой ткани с индексом массы тела (ИМТ), но не с IQ, семейным доходом или образованием родителей [6]. Также было установлено, что окружность головы является недостаточным показателем объема мозга у типично развивающихся детей и подростков [5]. Половые различия были более выражены в объеме коры и площади ее поверхности, чем в средней толщине [2]. По исследованиям Ducharme с соавторами (2016), единственным половым различием было более быстрое уменьшение толщины коры затылочных областей у мальчиков по сравнению с девочками. По их данным, среднее значение снижения средней толщины КГМ было 0,027 мм в год [3].

Изучая влияние возраста родителей на морфологическое состояние КГМ их детей, P. Shaw с соавторами (2011) выявил интересную динамику взаимосвязи возраста родителей с объемом КГМ детей. Так, у детей объем КГМ был выше с большим возрастом их родителей. Однако данная динамика касается родителей, возраст которых не превышает 30 лет. И наоборот, у детей, чьи родители были старше 30-ти лет, показатели объема снижались с повышением возраста их родителей. Интересно, что возраст отца больше влиял на площадь КГМ, в то время как возраст матери – на толщину КГМ. Возраст родителей не имел влияния на объем БВ у их детей [11].

Исследования влияния полушария, пола и возраста на вариабельность размеров участков ГМ у 115 здоровых детей и подростков в возрасте от 4 до 20 лет выявили различия в вариабельности структур: боковые желудочки демонстрировали самый высокий коэффициент вариации, а скорлупа – самый низкий. У мальчиков в левом полушарии и левой верхней височной извилине различия значительно выше, чем у девочек, тогда как в хвостатом теле и скорлупе правого полушария наблюдается противоположная тенденция – у девочек различий больше, чем у мальчиков. Возрастные эффекты проявлялись в повышенной вариабельности после полового созревания для боковых желудочков, гиппокампа и верхней височной извилины [7]. Согласно исследованиям, половые различия были обнаружены как для серого, так и для белого вещества. Анализ подтвердил значительные различия в морфологии мозга между мальчиками и девочками: наиболее выраженный объем миндалины у мальчиков, в то время как объем хвостатого тела был больше у девочек [12]. Mills и соавторы (2016) обнаружили доказательства продолжения изменений как внутричерепного объема, так и объема всего мозга в подростковом возрасте, хотя и по разным траекториям. Их результаты показывают, что объем КГМ находится на самом высоком уровне в детском возрасте, постепенно снижаясь в течение второго десятилетия с замедлением в третьем десятилетии, в то время как белое вещество интенсивно увеличивается до середины-конца подросткового возраста, прежде чем темп роста снижается. Они также отмечают, что учет размера черепа/мозга влияет

на модели регионального развития мозга, особенно в отношении половых различий [13]. По результатам лонгитюдного МРТ-исследования 90 здоровых подростков (11-20 лет), нелинейное увеличение площади поверхности наблюдалось на большей части КГМ. Половые различия в объеме и площади поверхности наблюдались с течением времени, однако различий в толщине выявлено не было. Кроме того, в нескольких областях наблюдались половые различия в развитии КГМ [14]. Эти результаты ясно демонстрируют различные паттерны развития в подростковом возрасте, особенно в областях, которые, как известно, способствуют развитию социального познания и поведенческой регуляции. Эти результаты свидетельствуют о том, что толщина и площадь поверхности могут определяться различными основополагающими механизмами, причем оба показателя потенциально предоставляет независимую информацию о развитии мозга.

Различные методы и подходы анализа структурной МРТ

Исследования, изучающие взаимосвязь между возрастом и структурным развитием мозга, проводятся с применением программного обеспечения для получения таких данных, как общие объемы и объемы структур ГМ, толщина, площадь и плотность КГМ. С начала 2000-х годов методы обработки изображений, такие, как воксельная морфометрия (VBM) и поверхностная (SBM), приобрели значительную популярность в нейронауке, поскольку они позволяют проводить полностью автоматизированный анализ крупномасштабных наборов данных структурной нейровизуализации. Морфометрия на основе вокселей (VBM) - это метод с использованием МРТ, который позволяет исследовать очаговые различия в анатомии мозга, используя статистический подход параметрического картирования. В этом методе объем всего мозга или его частей измеряется путем картирования областей интереса (ROI) на изображениях сканирования [1,9]. Однако этот метод является долгим и может обеспечить измерение только больших площадей. Методы поверхностной морфометрии человеческого мозга, как в ПО FreeSurfer, привлекают все больший интерес благодаря их точности и способности обнаруживать тонкие локальные изменения в анатомических формах мозга с высокой вычислительной скоростью. Поверхностные методы имеют широкое применение в области картирования человеческого мозга, включая сравнение трехмерных анатомических моделей разных субъектов, построение популяционных атласов мозга и обнаружение групповых паттернов в данных структурной МРТ [4,11].

В настоящее время изучение траектории развития головного мозга остается актуальным, особенно в Казахстане, так как в данной популяции еще не проводились исследования развития головного мозга с применением современных методов анализа. Выбирая методику для первичного анализа МРТ данных для исследования развития головного мозга у детей и подростков, мы остановились на поверхностной морфометрии (SBM).

FreeSurfer - это пакет с открытым исходным кодом для анализа и визуализации структурных, функциональных и диффузионных данных нейровизуализации.

Он разработан лабораторией вычислительной нейровизуализации в Центре биомедицинской визуализации имени А. А. Мартиноса (<https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>).

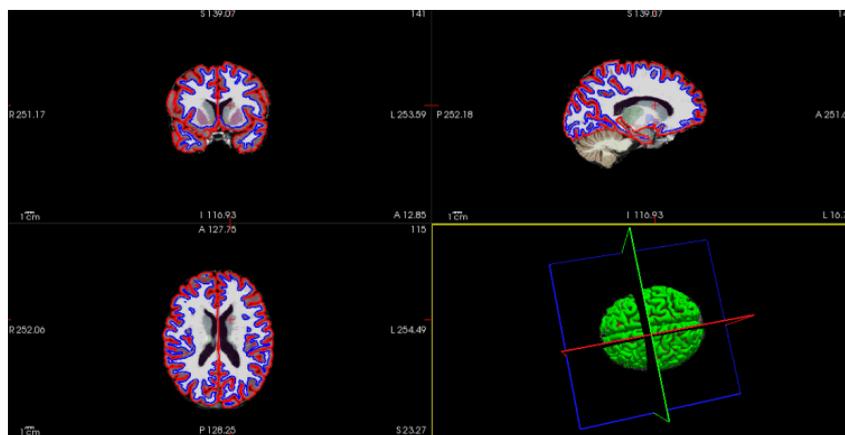


Рисунок 1. Результат сегментации одного из участников исследования, визуализация в ПО FreeSurfer 7.2.0.

Полный поток обработки данных МРТ-визуализации включает в себя удаление данных по костной структуре, коррекцию поля смещения, анатомическую сегментацию, а также реконструкцию кортикальной поверхности и парцелляцию [15].

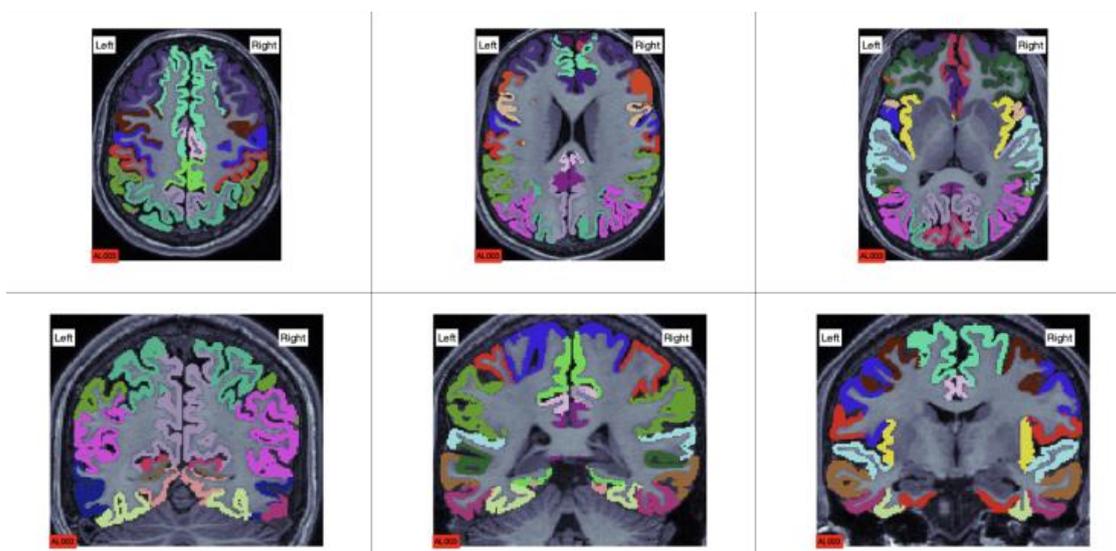


Рисунок 2. Результат парцелляции одного из участников исследования, визуализация в ПО FreeSurfer 7.2.0.

Бэтч FreeSurfer 7.2.0, применяемый нами для сегментации и парцелляции, дает следующие индивидуальные параметры: данные объемов общих и отдельных структур (рисунок 1), толщины и площади отдельных участков коры головного мозга (рисунок 2).

Обсуждение

В этом обзоре литературы были рассмотрены исследования нормального развития ГМ, направленные на изучение его траекторий развития. Было сделано несколько ключевых выводов. Во-первых, обнаружено линейное увеличение объема БВ и нелинейное изменение объема СВ КГМ, который увеличивается до и уменьшается после подросткового периода [1,6,7]. Уменьшение объема серого вещества происходит за счет его истончения. Увеличение объема белого вещества с возрастом почти равномерно, преобладая в пирамидальном тракте [6]. Во-вторых, в большинстве исследованиях упоминается, что объем ГМ значимо больше у мужской популяции при том, что взаимосвязь между размером мозга и размером тела у людей слабая. Однако установлено, что развитие ГМ происходит по одинаковой схеме как у представителей женского, так и мужского пола, в среднем, сопережением у первых [5,6,8,9,10]. Интересно, что возраст родителей имеет корреляцию с анатомическими показателями КГМ их детей. Чем старше родители, тем объем КГМ их детей больше. Однако, чьи родители были старше 30-ти лет, показатели объема КГМ детей отрицательно коррелировали с возрастом их родителей [11]. Также результаты исследования половых различий в траекториях развития ГМ указывают на то, что толщина и площадь поверхности КГМ могут определяться различными основополагающими механизмами, причем оба показателя потенциально предоставляют независимую информацию, демонстрируя различные паттерны развития ГМ в подростковом возрасте [12,13,14].

Изучение траекторий развития головного мозга требует выбора подходящей под цели исследования методики. Поверхностная морфометрия (SBM) является точной методикой первичного анализа МРТ данных с целью их квантификации.

Выводы

Таким образом, анализ литературы позволяет отметить, что наблюдается отрицательная корреляция возраста с толщиной КГМ. Траектории развития площади поверхности коры и толщины коры отличаются друг от друга, а сроки развития варьируются по всей коре. Паттерны развития толщины коры и площади поверхности отличались друг от друга и от траектории развития объема коры. Дальнейшее подтверждение этого вывода исходит из наблюдения, что некоторые области коры достигли максимальной площади поверхности позже, чем они достигли максимального объема. Это говорит о том, что кора головного мозга может все еще увеличиваться в площади в латеральном направлении в некоторых областях, даже после достижения максимального объема.

Следует отметить, что в среднем показатели общих и отдельных объемов ГМ, а также площадь коры головного мозга значимо выше у мальчиков, чем у девочек,

однако толщина КГМ не имеет статистически значимых половых различий. Анализ литературных источников показывает наличие открытых вопросов касательно развития ГМ. Применение ПО FreeSurfer в исследованиях развития ГМ даст нам возможность установить локальные изменения в анатомических данных мозга и восполнить пробелы, существующие в этой области.

Финансирование

Работа финансируется Министерством высшего образования и науки Республики Казахстан (грант AP08856595 Кустубаевой А.М.).

Вклад авторов

Кабенова О.Ю. – разработка концепции, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, Шугждейте Р. – разработка концепции, утверждение окончательного варианта статьи, Кустубаева А.М. – разработка концепции, проведение исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Список литературы

1. Giedd JN, Blumenthal J, Jeffries NO, et al. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study // *Nat Neurosci.* – 1999 – Vol. 2(10). – P.861-863.
2. Wierenga LM, Langen M, Oranje B, Durston S. Unique developmental trajectories of cortical thickness and surface area // *Neuroimage.* – 2014. – Vol. 87. – P. 120-126.
3. Ducharme S, Albaugh MD, Nguyen TV, et al. Trajectories of cortical thickness maturation in normal brain development-The importance of quality control procedures // *Neuroimage.* – 2016. – Vol.125. – P. 267-279.
4. Shaw P., Greenstein D., Lerch J., et al. Intellectual ability and cortical development in children and adolescents // *Nature.* – 2006. – Vol. 440(7084). – P. 676-679.
5. Lange N., Froimowitz M.P., Bigler E.D., Lainhart J.E. Brain Development Cooperative Group. Associations between IQ, total and regional brain volumes, and demography in a large normative sample of healthy children and adolescents // *Dev Neuropsychol.* – 2010 – Vol. 35(3). – P. 296-317.
6. Brain Development Cooperative Group. Total and regional brain volumes in a population-based normative sample from 4 to 18 years: the NIH MRI Study of Normal Brain Development // *Cereb Cortex.* – 2012. – Vol. 22(1). – P. 1-12.
7. Lange N., Giedd J.N., Castellanos F.X., Vaituzis A.C., Rapoport J.L. Variability of human brain structure size: ages 4-20 years // *Psychiatry Res.* – 1997. – Vol. 74(1). – P. 1-12.
8. Harvey P.H., Krebs J.R. Comparing brains // *Science.* – 1990 – Vol. 249(4965). – P. 140-146.
9. Giedd JN. Structural magnetic resonance imaging of the adolescent brain // *Ann N Y Acad Sci.* – 2004. – Vol. 1021. – P. 77-85.
10. Brouwer R.M., Schutte J., Janssen R., Boomsma D.I., Hulshoff Pol H.E., Schnack H.G. The Speed of Development of Adolescent Brain Age Depends on Sex and Is Genetically Determined // *Cereb Cortex.* – 2021 – Vol. 31(2). – P. 1296-1306.

11. Shaw P., Gilliam M., Malek M. Parental age effects on cortical morphology in offspring // *Cereb Cortex*. – 2012. – Vol. 22(6). P. 1256-1262.
12. Wilke M., Krägeloh-Mann I., Holland S.K. Global and local development of gray and white matter volume in normal children and adolescents // *Exp Brain Res*. – 2007. – Vol. 178(3). – P. 296-307.
13. Mills K.L., Goddings A.L., Herting M.M. Structural brain development between childhood and adulthood: Convergence across four longitudinal samples // *Neuroimage*. – 2016. – Vol. 141. – P. 273-281.
14. Vijayakumar N., Allen N.B., Youssef G. Brain development during adolescence: A mixed-longitudinal investigation of cortical thickness, surface area, and volume // *Hum Brain Mapp*. – 2016. – Vol. 37(6). – P. 2027-2038.
15. FreeSurfer software suite. [Электронный ресурс] – URL: <https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/15> (дата обращения: 20.03.2023).

О.Ю. Кабенова¹, Р. Шугждейте², А.М. Кустубаева¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Кэмбридж Университеті, Кэмбридж, Ұлыбритания

Мидың МРТ көрсеткіштерінің жас ерекшеліктеріне қатыстылығы және оларды сандық анықтау әдістері

Аңдатпа. Эмоциялық-когнитивті функциялармен байланысты мидың құрылымдық даму траекторияларының қалыптасуын түсіну мидың жетілу кезеңдерін анықтау және болжау үшін маңызды ғылыми міндет болып табылады. Бұл шолу құрылымдық магниттік-резонанстық томографияға негізделген балалар мен жасөспірімдер миының анатомиялық дамуы туралы зерттеулерді жүйелі түрде қарастырады. Әдеби деректер демографиялық мәліметтерге және әдістемелік тәсілдерге байланысты әр түрлі сипатқа ие. Дегенмен, ақ және сұр заттардың арақатынасының жасқа байланысты өзгеруі, жалпы ми қыртысының қалыңдығы мен ауданы және жеке құрылымдар сияқты кейбір заңдылықтар анықталды. Зерттеу нәтижелері ми жетілуінің гетерохронды процестерін де көрсетеді. Мысалы, ми қыртысының фронтальды аймағы желке аймағына қарағанда ұзағырақ жетілу траекториясына ие. Көптеген зерттеулер көлемдік көрсеткіштердің жоғары мәндерінде көрінетін жыныстық айырмашылықтарды анықтады. Екі жүзден астам параметрлердің мәнін анықтауға мүмкіндік беретін құрылымдық магниттік-резонанстық томографияны кванттаудың заманауи әдістері талданды. Гарвард университетінің А.А. Мартинос биомедициналық бейнелеу орталығындағы есептеу нейробейнелеу зертханасы әзірлеген FreeSurfer бағдарламалық құралын пайдалана отырып, үстіңгі морфометрияның артықшылықтары анықталды. 7 жастан 20 жасқа дейінгі балалардағы эмоциялық-когнитивті функцияларға қатысты беттік морфометрия көрсеткіштерінің жасқа байланысты өзгерістеріне одан әрі эксперименттік зерттеулер жүргізу қажеттілігі негізделді.

Түйін сөздер: мидың дамуы, ми морфологиясы, құрылымдық магниттік-резонанстық томография, үстіңгі морфометрия (SBM), жыныстық айырмашылықтар, жас айырмашылықтары, FreeSurfer.

O.Y. Kabenova¹, R. Siugzdaite², A.M. Kustubayeva¹

¹*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

²*Cambridge University, Cambridge, UK*

Age-related features of structural MRI of the brain and methods for their quantification

Abstract. Understanding the formation of the trajectories of the brain structural development in relation to emotional and cognitive functions is an important scientific task for identifying and predicting the stages of brain maturation. This review systematically examines structural magnetic resonance imaging studies of the brain anatomical development in children and adolescents. The literature reveals inconsistency due to the difference in participants demographic groups and methodological approaches. Nevertheless, some patterns have been identified, such as age-related changes in the ratios of white and gray matter, thickness and area of the cerebral cortex both total and regional. The most observable results underline that the brain maturation is a heterochronous processes. For instance, the frontal region of the cerebral cortex has a longer maturation trajectory compared to the occipital region. Gender differences reflected in higher values of volume indicators have been identified in many studies. This article also describes the methods of quantification of structural magnetic resonance imaging, which allowed us to determine the value of more than two hundred parameters. There are some explanations of the advantage of the surface-based morphometry by using the FreeSurfer software, developed by the Computational Neuroimaging Laboratory at the A. A. Martinos Biomedical Imaging Center at Harvard University. The authors substantiate the necessity of further experimental studies of age-related changes in surface-based morphometry parameters in relation to emotional and cognitive functions in children from 7 to 20 years old.

Keywords: brain development, brain morphology, structural magnetic resonance imaging, surface based morphometry (SBM), sex differences, age differences, FreeSurfer.

Сведения об авторах:

Кабенова О.Ю. – докторант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Шугзейте Р. – PhD, кандидат компьютерных наук, Университет Кэмбридж, Кэмбридж, Великобритания.

Кустубаева А.М. – профессор, кандидат биологических наук, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Kabenova O.Y. – 2nd year PhD student, Biology and Biotechnology Department, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan.

Siugzdaite R. – PhD in Computer science, Research Associate, MRC Cognition & Brain Sciences Unit University of Cambridge, Cambridge, UK.

Kustubayeva A.M. – Professor, Candidate of Biological sciences, Biology and Biotechnology Department, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan.