

УДК 611.81+612.65+611.71

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ЭКВИВАЛЕНТЫ МОРФОГЕНЕЗА ГОЛОВНОГО МОЗГА И ЧЕРЕПА ЧЕЛОВЕКА (НА ПРИМЕРЕ ЖИТЕЛЕЙ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

© С.Е. Байбаков

Ключевые слова: морфогенез; морфометрия; череп; головной мозг.

С применением МР-томографии определены многие линейные и объемные размеры головного мозга. Впервые определены морфометрические показатели возрастной и половой изменчивости мозга. Установлены новые данные в закономерностях роста головного мозга и черепа. Обнаружена корреляционная зависимость между размерами черепа, головного мозга и отдельных его структур, что позволило построить математическую модель прогноза размеров головного мозга по размерам черепа и прогноза размеров мозгового черепа по возрасту. Применение метода МР-томографии в нейроанатомическом исследовании продолжает и развивает методологические обоснования применения метода магнитно-резонансной томографии в современной анатомии.

Актуальность проблемы. Современный этап развития анатомии достаточно противоречив, с одной стороны, в арсенале исследователей появляются новые, современные методы исследования, такие как МРТ, КТ, эхолокация, электрорентгенография, эндоскопия; с другой стороны, макроскопическая анатомия не утратила исследовательских приоритетов, поскольку многие морфологические показатели органов были получены давно и на трупном материале. Данная противоречивость проблемы предполагает внедрение новых современных методов изучения в классические подходы анатомии. Головной мозг является ярким примером сложившегося отношения исследователей к данной проблеме. Головной мозг привлекает внимание ученых несколько веков и достаточно подробно изучены его анатомия, гистология, физиология, патология; написано много монографий и опубликовано громадное количество научных статей. Но в то же время следует отметить, что среди многочисленной литературы редки работы с применением классического метода анатомии – «описательно-измерительного», т. е. работы с привлечением морфометрических методов и применением методов современной вариационной статистики. Недостаточно разработана проблема постнатального онтогенеза головного мозга. Процесс развития человеческого организма после рождения больше изучен лишь относительно периода новорожденности и первого года жизни и [1] мало относительно других периодов постнатального онтогенеза. Раскрытие закономерностей развития и изменчивости мозга имеет огромное значение для понимания вариантов размеров, объема, массы, топографии, с которыми ежедневно встречается клиническая практика. Возрастающий уровень техники оперативного вмешательства при патологии мозга сосудистого, онкологического, травматического или иного генеза подразумевает наличие четких знаний о размерах, топографии, соотношении структур мозга и черепа в любом возрасте, что предполагает четкую постановку диагноза и позволяет адекватно планировать манипуляции и оперативный доступ. Данные фак-

ты подчеркивают важность проблемы, представленной в данной работе – выявление основных закономерностей морфогенеза головного мозга и черепа на всех этапах постнатального онтогенеза.

Хотя применение МРТ в медицине началось сравнительно недавно, данный метод уже стал наиболее информативным в диагностике патологии нервной, эндокринной и других систем. Благодаря уникальным возможностям визуализации мягких тканей (высокое качество, любая плоскость сканирования, контраст) МРТ можно считать новым, современным методом изучения прижизненной анатомии. Для диагностики патологии головного мозга важно не только знание МР-характеристик нормальных и патологически измененных тканей, но и четкое разграничение нормальных и патологических значений таких показателей, как линейные размеры, площади, а также тенденции их изменения с возрастом.

Врачи, работающие на МР-томографах, зачастую вынуждены ориентироваться на размеры структур головного мозга, полученные на секционном материале [2–19]. Метрических МР-данных крайне мало, они затрагивают лишь некоторые структуры головного мозга [20–27] и выполнены на оборудовании начального периода медицинской МР-томографии, поэтому важно провести комплексное МР-метрическое исследование структур головного мозга, изучить изменение последних в возрастном аспекте и провести сравнительный анализ с данными, имеющимися в литературных источниках. Необходимость в проведении сравнительного анализа МР-метрических параметров с секционными была подтверждена во время практической работы, когда было отмечено несоответствие между полученными результатами и данными, найденными в литературных источниках.

Также представляется актуальным изучение корреляционных связей между основными размерами черепа и головного мозга, поскольку полученные регрессионные зависимости могут быть использованы для объективизации стереотаксических расчетов в нейрохирур-

гии, в том случае, если лечебное учреждение не имеет томографа или у пациента имеются прямые противопоказания к применению МР-томографии (кардиостимулятор, металлические осколки в теле, клаустрофобия и др.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью решения поставленных выше задач был разработан алгоритм МРТ обследования пациентов. Обследование пациентов проводилось на магнитно-резонансном томографе «Isona 6400» (сила поля 0,15 Тл) Тамбовской областной больницы. Дети до 5 лет обследовались на фоне медикаментозного сна.

Исследования пациентов проводились в 28 возрастных группах: 1 группа – новорожденные; 2–22-я группа – в возрасте от 1 года до 21 года (включительно), 23-я группа – в возрасте 25 лет; 24-я группа в возрасте 30 лет; 25-я группа – в возрасте 40 лет; 26-я группа – в возрасте 50 лет; 27-я группа – в возрасте 60 лет; 28-я группа – в возрасте 70 лет. В каждой группе было 60 человек: 30 мужчин и 30 женщин.

В работе использовался алгоритм исследования, оптимальный для полноценной визуализации структур головного мозга, используемый в стандартном обследовании пациентов:

- 1) T1-ВИ и T2-ВИ в сагиттальной плоскости;
- 2) T1-ВИ и T2-ВИ в аксиальной плоскости;
- 3) T2-ВИ во фронтальной плоскости.

Алгоритм исследования включал в себя 3 блока: 1 – информационный (сведения о пациенте); 2 – краниометрическое обследование; 3 – энцефалометрическое обследование.

Краниометрическое обследование осуществлялось согласно руководству по краниологии и включало в себя определение следующих параметров мозгового черепа: продольный размер черепа, поперечный размер черепа, вертикальный размер черепа, поперечно-продольный указатель, высотно-продольный указатель, высотно-широтный указатель, объем черепа, энцефалочерепной указатель.

Энцефалометрическое обследование осуществлялось согласно руководству энцефалометрии и включало в себя определение следующих параметров: длина полушарий, ширина мозга, ширина полушарий, высота мозга, высота полушарий, широтно-продольный показатель мозга, широтно-продольный показатель правого и левого полушарий, высотно-продольный показатель мозга, высотно-продольный показатель правого и левого полушарий, длина лобной доли, длина теменной доли, длина затылочной доли, длина височной доли, длина мозолистого тела, толщина мозолистого тела, длина колена мозолистого тела, длина валика мозолистого тела, площадь поперечного сечения мозолистого тела, длина переднего рога бокового желудочка, ширина переднего рога бокового желудочка, длина центральной части бокового желудочка, ширина центральной части бокового желудочка, длина заднего рога бокового желудочка, ширина заднего рога бокового желудочка, длина нижнего рога бокового желудочка, расстояние между передними рогами боковых желудочков, расстояние между задними рогами боковых желудочков, переднезадний размер бокового желудочка, длина III-го желудочка, высота III-го желудочка, длина водопровода, длина IV-го желудочка, высота IV-го

желудочка, длина червя мозжечка, длина полушарий мозжечка, ширина мозжечка, ширина полушарий мозжечка, высота червя мозжечка, высота полушарий мозжечка, длина моста, вертикальный размер моста, длина продолговатого мозга, высота продолговатого мозга на уровне верхней и нижней границы.

Развитие и рост черепа после рождения выражаются в увеличении его размеров, изменении формы и пространственных отношений составляющих частей, формировании элементов рельефа и дифференцировки костных структур. Мозговой и лицевой отдел черепа обладают относительно независимым и различным типом роста. У млекопитающих, в т. ч. и у человека, мозговая коробка, глазница и ушная капсула имеют нейтральный тип роста, который характеризуется высокой скоростью в пренатальном и раннем постнатальном периодах, но затем быстро затухает. Лицевой скелет растет по соматическому типу, более равномерно и длительно (до зрелого возраста) с ускорением в пубертатном периоде. Основание черепа занимает промежуточное положение между сводом и лицевым черепом, взаимодействуя в процессе роста с тем и другим [28].

Рост черепа происходит неравномерно во времени и пространстве. Это проявляется в неодинаковых скоростях роста в различных направлениях и в разные возрастные периоды. Как указывает W.J. Moore [29], общей тенденцией роста мозговой коробки и лицевого скелета млекопитающих является рост преимущественно в переднезаднем направлении; у человека и многих животных в детском возрасте голова более широкая и круглая, а лицо слабо выступает вперед.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что формирование мозгового черепа, оцениваемое по динамике увеличения основных его размеров (продольного, поперечного и вертикального), завершается к 21 году, что совпадает с мнением большинства исследователей, которые начало периода относительной стабильности черепа связывают с началом первого периода зрелого возраста.

Нами установлено, что увеличение продольного размера черепа происходит в 3 этапа с различной интенсивностью на каждом из них. У лиц мужского пола выделяют следующие этапы: I этап – с 1 года до 8 лет с ежегодным приростом 1,9 мм, II этап – с 9 лет до 14 лет с ежегодным приростом 2,7 мм, III этап – с 15 лет до 20 лет с ежегодным приростом 4,0 мм. У лиц женского пола выделяют этапы, несколько отличающиеся от мужского пола: I этап – с 1 года до 6 лет с ежегодным приростом 3,1 мм, II этап – с 7 лет до 14 лет с ежегодным приростом 2,1 мм, III этап – с 15 лет до 21 года с ежегодным приростом 3,1 мм. Таким образом, за период с 1 года по 21 год мужской череп увеличивается с 145 до 212 мм, а женский – от 149 до 205 мм. Наши данные отражают общую тенденцию морфогенеза мозгового черепа.

Н.Н. Миклашевская [30] считает, что после первого года жизни длина и ширина головы продолжает заметно увеличиваться до 3–4 лет. В возрасте 5–6 лет величины прироста этих размеров резко снижаются, в 7–8 лет вновь отмечается увеличение длины головы, а затем наступает период стабильности размеров, кото-

рый продолжается у девочек – до 12 лет, а у мальчиков – до 13 лет. В подростковом периоде у мальчиков увеличивается преимущественно длина черепа, тогда как у девочек рост черепа в длину и в ширину приблизительно одинаков. По данным этого же автора, рост черепа перестает увеличиваться у девушек к 16 годам, у юношей – к 18 годам.

Нами установлено, что увеличение поперечного размера черепа происходит в два этапа с различной интенсивностью роста на каждом из них: I этап – с 1 года до 14 лет, II этап – с 15 до 20 лет. Поперечный размер мужского черепа увеличивается с минимальной интенсивностью – в среднем 1,4 мм в год в обоих периодах интенсификации. Этот же размер женского черепа на I этапе (с 1 года до 14 лет) увеличивается в среднем на 1,7 мм в год, а на II этапе (с 15 до 20 лет) – на 1,8 мм.

Нами установлено, что увеличение вертикального размера черепа происходит в 2 этапа с различной интенсивностью роста на каждом из них: у лиц мужского пола I этап – с 1 года до 6 лет, II этап – от 15 до 20 лет; у лиц женского пола I этап – с 1 года до 6 лет, II этап – от 15 лет до 21 года. В указанные возрастные периоды вертикальный размер черепа увеличивается в среднем от 4,3 мм в год (у мальчиков от 1 года до 6 лет) до 6,0 мм (у юношей от 15 до 20 лет). Между двумя периодами интенсивного вертикального увеличения черепа находится период стабилизации – с 7 до 14 лет.

Изучение половой изменчивости краниометрических показателей позволяет заключить, что у мужчин преобладают все показатели мозгового черепа, за исключением энцефалочерепного указателя, который преобладает, в большинстве случаев, у женщин. Наши данные совпадают с мнением Ch.M. Gefferth [31], который изучал на рентгенограммах 9 размеров мозгового черепа детей от рождения до 16 лет и констатировал преобладание почти всех размеров у мальчиков, за исключением длины переднего отдела основания черепа.

В детском возрасте абсолютный и относительный прирост большинства размеров черепа преобладает также у мальчиков, однако у девочек выше отношение размеров с их дефинитивными значениями, принимаемыми за 100 %; это объясняется более ранним прекращением у них роста черепа. Отмечаемое в ряде работ ускорение роста головы в подростковом периоде связано, по-видимому, с увеличением наружных размеров черепа. М.Л. Вагг [10] установил методом продольного рентгенокраниометрического исследования, что у мальчиков в возрасте 15 лет кривая роста продольного диаметра черепа имеет выраженный подъем, тогда как кривая роста эндокрана в длину уплощена соответственно затухающей фазы. С окончанием роста черепа наступает период его относительной стабильности, который приходится на первый период зрелого возраста. Этот период характеризуется общей уравновешенностью процессов аппозиции и резорбции костной ткани. Однако и в это время происходит изменение отдельных его структур, например, продолжается пневматизация клиновидной пазухи. В классических руководствах по краниологии [32] признается, что форма черепа, достигнутая к зрелому возрасту, сохраняется в течение дальнейшей жизни, а его главные размеры и объем несколько уменьшаются после 50 лет. По данным М.В. Твардовской [7], длина черепа

уменьшается после 60 лет, а у женщин после 40 лет. Черепной указатель у женщин повышается после 50 лет, т. е. происходит сдвиг в сторону брахикрании. У мужчин изменения черепного указателя с возрастом незначительны. В нашем исследовании такая тенденция наблюдалась, но статистически достоверных критериев возрастных изменений черепа не было выявлено.

Рост мозгового черепа одним из первых изучал F. Merckel [24], выделивший два периода роста черепа с разделяющей их паузой. Первый период продолжается от рождения до 7 лет и характеризуется наиболее интенсивным ростом. После 7 лет рост черепа почти прекращается, и эта пауза длится до начала полового созревания. Второй период роста совпадает с половым созреванием и завершается с прекращением общего роста организма. Эта периодизация была подтверждена другими исследованиями, однако данные нашего краниометрического анализа позволяют судить нам о черепе как не о статичном образовании, а динамичном – развитие которого происходит неравномерно во времени и пространстве.

Более детальный количественный анализ выявленных тенденций проведен с помощью регрессионного анализа. Изучение связей размеров черепа с возрастом показало, что связь продольного и поперечного размеров с возрастом преимущественно умеренная – коэффициент корреляции от 0,41 до 0,74. Связь вертикального размера с возрастом в периодах интенсивного роста близка к сильной или сильная, коэффициент корреляции принял значения от 0,65 до 0,82. Связь во всех гендерновозрастных группах положительная. Выявленные связи позволили разработать регрессионные модели и номограммы прогноза размера черепа в зависимости от возраста в различных гендерновозрастных группах.

Для мальчиков в возрасте 1–8 лет модель имеет вид:
продольный размер = $169,6 + 1,91 \times \text{возраст}$.
 Для мальчиков в возрасте 9–14 лет модель имеет вид:
продольный размер = $156,5 + 2,68 \times \text{возраст}$.
 Для юношей в возрасте 15–20 лет модель имеет вид:
продольный размер = $118,3 + 3,98 \times \text{возраст}$.
 Для девочек в возрасте 1–6 лет модель имеет вид:
продольный размер = $161,9 + 3,09 \times \text{возраст}$.
 Для девочек в возрасте 7–14 лет модель имеет вид:
продольный размер = $160,6 + 2,08 \times \text{возраст}$.
 Для девушек в возрасте 15–21 год модель имеет вид:
продольный размер = $125,9 + 3,15 \times \text{возраст}$.
 Для мальчиков в возрасте 1–14 лет модель имеет вид:
поперечный размер = $134,1 + 1,45 \times \text{возраст}$.
 Для юношей в возрасте 15–20 лет модель имеет вид:
поперечный размер = $125,8 + 1,43 \times \text{возраст}$.
 Для девочек в возрасте 1–14 лет модель имеет вид:
поперечный размер = $127,8 + 1,79 \times \text{возраст}$.
 Для девушек в возрасте 15–20 лет модель имеет вид:
поперечный размер = $113,1 + 1,80 \times \text{возраст}$.
 Для мальчиков в возрасте 1–6 лет модель имеет вид:
вертикальный размер = $125,4 + 4,29 \times \text{возраст}$.
 Для юношей в возрасте 15–20 лет модель имеет вид:
вертикальный размер = $41,5 + 6,05 \times \text{возраст}$.
 Для девочек в возрасте 1–6 лет модель имеет вид:
вертикальный размер = $120,6 + 4,48 \times \text{возраст}$.
 Для девушек в возрасте 15–21 год модель имеет вид:
вертикальный размер = $52,8 + 5,15 \times \text{возраст}$.

В работе подсчитывалось различное соотношение форм мозгового черепа по 3 указателям (поперечно-продольному, высотно-продольному и высотно-широтному). У детей в возрасте 1 года наиболее распространенным сочетанием форм мозгового черепа: у мальчиков не выделялось (формы были распределены равномерно), а у девочек – мезокран, гипсикран, акрокран. У мальчиков и девочек 5 лет наиболее распространенным стало сочетание – брахикран, гипсикран, акрокран. В период полового созревания соотношение форм меняется: у мальчиков и девочек 14 лет преобладающим было сочетание – мезокран, ортокран, тапейнокран. В зрелом возрасте у мужчин и женщин преобладают два сочетания форм мозгового черепа: мезокран, гипсикран, акрокран и брахикран, гипсикран, акрокран (без признаков половой изменчивости).

Нами также изучалась динамика размера больших полушарий в половозрастных группах. При этом оценивались три размера: длина правого полушария, ширина мозга и высота мозга. Связь перечисленных размеров с возрастом в интервале от 1 до 21 года, как мужского, так и женского мозга, подчиняется тем же закономерностям, что и размеры черепа. Именно по этой причине мы не стали проводить детальный анализ этой связи в выделенных нами возрастных группах.

Оценивая развитие большого мозга на примере длины правого полушария, выяснили, что к году у мальчиков и девочек она практически равна – $146,9 \pm 2,15$ мм и $146,8 \pm 1,42$ мм соответственно. В течение первого семилетия темп развития длины полушария у мальчиков существенно превышал аналогичный у девочек. В дальнейшем темп развития выравнивался и сохранился до 21 года, обеспечив значимое ($p < 0,05$) различие в гендерных группах и прибавку 11,6 мм к размеру мужского и 11,7 мм к размеру женского мозга. Окончательно длина полушария установилась на цифрах $178,1 \pm 1,27$ мм – мужского мозга и $172,3 \pm 1,5$ мм – женского.

Таким образом, нами установлено, что формирование длины полушарий завершается к 21 году. Значимые различия в длине полушарий мужчин и женщин выявились в 7-летнем возрасте и сохранились до 30-ти лет.

Анализ метрических данных структур головного мозга, полученных при секционном обследовании и современными способами визуализации, свидетельствует об их неоднозначности.

Длина полушария, измеренная при МРТ-томографии, равнялась у мужчин – $178,1 \pm 1,27$ мм, у женщин – $172,3 \pm 1,55$ мм. Другие исследователи приводят следующие цифры: Г.И. Россолимо [33] – 16–17 см; С. Есопото [21] – 15,5–19,0 см; А.А. Юргутис [34] – 16–17 см (у мужчин) и 15–16 см (у женщин); Э.Д. Моренков [4] – 17,5 см; В.П. Курбатов [20] – $13,1 \pm 0,6$ см (у мужчин) и $11,2 \pm 0,7$ см (у женщин).

Данные МР-метрии соответствуют секционным данным других исследователей, однако отличаются от данных, приведенных в работе В.П. Курбатова [20].

Формирование переднезаднего размера бокового желудочка завершается к 14 годам. Его длина в мужском мозге во всех возрастных группах преобладала над женским на 2–4 мм. При этом статистически значимых различий этого размера в гендерных категориях всех возрастных групп не обнаружено ($p > 0,05$). Ми-

нимальная длина рассматриваемого размера составила $81,9 \pm 1,36$ мм у девочек в 1 год, а максимальная – $105,1 \pm 1,08$ мм у мужчин 30-летнего возраста. От 1 года до 14 лет у девочек длина желудочка увеличилась с $81,9 \pm 1,36$ мм до $97,9 \pm 1,56$ мм, а у мальчиков с $85,8 \pm 0,58$ мм до $101,7 \pm 1,92$ мм. Интенсивность увеличения размера с 1 года до 7 лет и с 7 до 14 лет практически одинакова.

Метрические характеристики бокового желудочка представлены в работах М.Х. Файзуллина [35] и В.П. Курбатова [20]. М.Х. Файзуллин [35] приводит переднезадний размер бокового желудочка у новорожденных – 6,9 см, в возрасте 13 лет – 9,8 см. В.П. Курбатов [20] представил метрические характеристики боковых желудочков, полученные при МРТ-обследовании. Он отметил, что у женщин в возрасте 15–42 года этот размер составил $10,4 \pm 0,5$ см (L) и $10,3 \pm 0,5$ см (R), у мужчин в возрасте 15–39 лет составил $10,7 \pm 0,7$ см (L) и $10,6 \pm 0,6$ см (R). Также автор отмечает, что у мужчин переднезадний размер боковых желудочков несколько больше, чем у женщин (недостаточно, $p > 0,05$). В возрасте 18–23 лет наблюдались максимальные данные этого размера, увеличение размера к 20-ти годам и тенденция к уменьшению в дальнейшем.

Данные нашего исследования совпадают с результатами работы В.П. Курбатова [20] и превосходят аналогичные ($p < 0,001$), полученные различными рентгенологическими методами.

Длина мозжечка в возрасте 1 года составляет $52,7 \pm 0,82$ мм у девочек и $61,6 \pm 0,68$ у мальчиков. К 7-ми годам длина составила $58,7 \pm 0,97$ мм и $61,6 \pm 0,68$ мм соответственно, т. е. увеличилась приблизительно на 6 мм. От 7 до 30 лет длина мозжечка увеличилась лишь на 3,2 мм у женщин и составила $61,9 \pm 0,69$ мм. От 7 до 30 лет длина мозжечка увеличилась на 1,4 мм у мужчин и составила $63,0 \pm 0,70$ мм. От 7 до 30 лет длина мозжечка увеличилась на 1,4 мм у мужчин и составила $63,0 \pm 0,70$ мм.

Морфометрические показатели мозжечка представлены в следующих работах. Е.П. Кононова [36] приводит следующие показатели мозжечка: у мужчин – 6,1–6,2 см, у женщин – 5,7–5,9 см. А.А. Юргутис [34] в своей работе приводит более информативную морфометрическую характеристику: длина полушарий мозжечка у женщин в возрасте 15–42 лет составила $5,88 \pm 0,35$ см (L) и $5,93 \pm 0,32$ см (R), у мужчин в возрасте 15–39 лет составила $6,09 \pm 0,31$ см (L) и $6,08 \pm 0,27$ см (R). В возрасте: 1–4,5 года – $5,66 \pm 0,54$ (L) и $5,69 \pm 0,49$ см (R), 18–23 года – $6,08 \pm 0,33$ см (L) и $6,10 \pm 0,29$ см (R), 32–42 лет – $5,7 \pm 0,28$ см (L) и $5,7 \pm 0,21$ см (R). Максимальные показатели отмечены в возрасте 18–23 лет ($p < 0,01$). Переднезадний размер полушарий мозжечка у мужчин больше, чем у женщин ($p < 0,05$), что согласуется с данными А.В. Краева [37].

Данные МР-метрии соответствуют литературным, но более согласуются с данными [9].

Длина моста к году преобладала у девочек: $21,2 \pm 0,32$ мм у девочек и $20,4 \pm 0,20$ мм у мальчиков. Однако следует отметить, что эти различия статистически не значимы ($p > 0,05$). К 7-ми годам картина меняется на противоположную. У мальчиков длина моста увеличилась на 4,5 мм и составила $24,9 \pm 0,39$, а у девочек всего на 1,4 мм, достигнув $22,6 \pm 0,63$ мм. Окончательная положительная динамика длины моста завер-

шается к 14 годам, приняв значение $28,2 \pm 0,54$ мм у мальчиков и $26,2 \pm 0,61$ мм у девочек.

Морфометрические показатели моста представлены в работах [44, 17]. F. Rauber-Kopsch [38] измерил длину моста и получил результат 2,5 см. М.Х. Файзуллин [35] рентгенографическим методом установил, что этот размер у женщин в возрасте 15–42 лет составил $22,7 \pm 1,2$ мм, у мужчин в возрасте 15–39 лет составил $23,1 \pm 1,2$ мм, в возрасте 0–4,5 лет – $19,0 \pm 1,9$ мм, 18–23 лет – $22,7 \pm 1,6$ мм, 32–42 года – $22,3 \pm 1,3$ мм. Отмечено увеличение размера в первые два десятилетия жизни ($p < 0,001$), далее рост недостоверный ($p > 0,05$).

Данные МР-метрии отличаются от приведенных выше в большую сторону ($p > 0,05$).

Интенсивность роста продолговатого мозга от 1 года до 7 лет и от 7 до 14 лет практически одинакова, обеспечив увеличение с $21,6 \pm 0,42$ мм до $26,1 \pm 0,79$ мм у девочек и с $22,1 \pm 0,67$ мм до $27,0 \pm 0,53$ мм у мальчиков. Максимальная интенсивность наблюдалась в период от 14 до 21 года. Длина продолговатого мозга к 21 году составила у мужчин $34,6 \pm 0,54$, а у женщин – $34,0 \pm 0,46$ мм.

В результате проведенных МР-метрических исследований доказано несовпадение некоторых размеров структур головного мозга с данными, указанными в литературных источниках, и различие размеров большинства структур головного мозга у детей и взрослых. Различия наших данных с секционными, вероятнее всего, связаны именно с посмертными изменениями и воздействием фиксирующих растворов. Различия с некоторыми литературными МР-данными связаны, на наш взгляд, с тремя причинами: 1 – различные уровни измерений; 2 – более высокое качество нашего оборудования (меньшая толщина срезов, лучшее соотношение сигнал/шум и более современные программы обработки данных); 3 – разный подход к формированию контрольных групп (возраст, сопутствующая патология).

В заключение следует сказать несколько слов о половых и межполушарных отличиях исследованных параметров головного мозга.

Более высокий энергетический обмен у мужчин по сравнению с женщинами, как известно, генетически обусловлен большей жизненной емкостью легких, содержанием гемоглобина, массой скелетных мышц, высоким уровнем окислительных процессов, а также значительным суммарным катаболическим эффектом андрогенов и их производных по сравнению с эстрогенами. Это позволяет мужскому организму синтезировать больше сократительных белков мышечной ткани. Более высокий метаболизм обусловлен иным функционированием мозга мужчины [53].

Половые различия у человека проявляются в форме черепа, массе мозга, картине ЭЭГ, латеральных признаках, сенситивности к различным стимулам. J. Crichton-Brown [25] доказал, что относительная масса мозга у мужчин больше, чем у женщин. Позднее было доказано, что в неокортексе женщин больше плотность нейронов, поэтому меньшая масса мозга не ведет к уменьшению числа нейронов [40, 41]. Количество нейронов в единице объема в корковых слоях II и IV женщин больше на 11 %. В слоях III, V, VI отличий не найдено [42].

Основная масса данных по гендерной специфике свидетельствует о большей специализации мозга муж-

чин по сравнению с женщинами [43–45]. Эти различия есть не только у человека [31, 25, 46–48].

Полученные нами данные свидетельствуют, о том, что проявление половой изменчивости мозга наиболее выражено в возрасте 10–16 лет. Причем у лиц мужского пола отмечается тенденция к увеличению размеров конечного мозга, а у лиц женского пола – преобладают размеры стволовой части мозга.

Согласно гипотезе D. Waber [49], половые различия являются функцией скорости созревания структур мозга. Проанализировав результаты исследования подростков (80 детей), она предложила, что раннее созревание связано с лучшей лингвистической функцией, а более позднее коррелирует с лучшими пространственными способностями. У рано созревающих организмов обнаруживается меньшая латерализация, поэтому мозг у женщин более симметричен.

Развитие асимметрии мозга начинается уже у зародышей [10]. При проведении УЗИ на 20–22 недели беременности у большинства эмбрионов выявлен увеличенный объем левого полушария – $2,781 \pm 0,287$ см в левом и $2,681 \pm 0,267$ мм в правом; $2,804 \pm 0,174$ см в левом и $2,627 \pm 0,192$ см в правом полушариях, у мальчиков и девочек соответственно. Данные о преобладании размера левого полушария над правым у зародышей подтверждены и в других работах [50].

Однако наше исследование показало, что у новорожденных и детей до 3 лет характерна обратная картина. Согласно данным МРТ, в группе испытуемых превалировал объем правого полушария над левым. Начиная с возрастной группы 4 года и до пожилого возраста левое полушарие в большинстве случаев больше правого. Приведенные данные говорят о явной возрастной динамике межполушарной асимметрии. По-видимому, это связано с рядом факторов. Во-первых, ввиду эволюционного положения человека, т. е. резкой социальной направленности всего поведения и очевидного превалирования речевого компонента в коммуникации, прогнозируемо преимущественное развитие речевых центров, большая часть которых расположена в левом полушарии головного мозга. Этим, очевидно, определяется больший, по сравнению с правым, объем левого полушария у взрослых в связи с повышенной на него функциональной нагрузкой.

Что касается реверсии асимметрии у детей 2–3-х лет, то, по некоторым данным [51], в раннем онтогенезе человека развитие правого полушария опережает развитие левого. У годовалых детей идет постоянный приток огромного количества информации о внешнем мире. При этом для ребенка важна не детализация каждого нового образа, а переработка его в целом, узнавание лиц, образов [52]. Развитие же локальных процессов начинается на несколько месяцев позже. В данном случае при оценке глобальных характеристик ведущую роль играет именно правое полушарие, что и определяет его увеличенный объем в этом периоде.

Изучение морфологической асимметрии является важнейшей темой, поскольку изучение размеров определенных образований может быть как следствием патологии, так и ее непосредственными причинами или сопутствующим фактором. Например, в научной литературе имеются данные изменения асимметрии морфометрических показателей определенных структур головного мозга при таких заболеваниях, как аутизм,

шизофрения, дислексия, синдром нарушения внимания с гиперактивностью у детей, синдром хрупкости Х-хромосомы, эпилепсия.

Следующим этапом в количественной характеристике головного мозга и черепа стала выработка математических моделей прогноза размеров мозга по известным размерам черепа. Большая часть соотношений размеров черепа и мозга (13 из 16) продемонстрировала сильную ($p > 0,7$) статистически значимую ($p < 0,05$) корреляционную связь.

Для мальчиков в возрасте 1–9 лет модель имеет вид:

$$\text{длина полушария} = 6,7 + 0,88 \times \text{продольный размер черепа.}$$

Для мальчиков в возрасте 10–14 лет модель имеет вид:

$$\text{длина полушария} = 60,9 + 0,54 \times \text{продольный размер черепа.}$$

Для юношей в возрасте 15–20 лет модель имеет вид:

$$\text{длина полушария} = 77,4 + 0,47 \times \text{продольный размер черепа.}$$

Для девочек в возрасте 1–7 лет модель имеет вид:

$$\text{длина полушария} = 7,6 + 0,96 \times \text{продольный размер черепа.}$$

Для девочек в возрасте 8–14 лет модель имеет вид:

$$\text{длина полушария} = 64,7 + 0,52 \times \text{продольный размер черепа.}$$

Для девушек в возрасте 15–21 года модель имеет вид:

$$\text{длина полушария} = 34,9 + 0,79 \times \text{продольный размер черепа.}$$

Для мальчиков в возрасте 1–14 лет модель имеет вид:

$$\text{ширина мозга} = 34,4 + 0,67 \times \text{поперечный размер черепа.}$$

Для юношей в возрасте 15–20 лет модель имеет вид:

$$\text{ширина мозга} = 24,1 + 0,72 \times \text{поперечный размер черепа.}$$

Для девочек в возрасте 1–14 лет модель имеет вид:

$$\text{ширина мозга} = 38,2 + 0,64 \times \text{поперечный размер черепа.}$$

Для девушек в возрасте 15–20 лет модель имеет вид:

$$\text{ширина мозга} = 21,3 + 0,73 \times \text{поперечный размер черепа.}$$

Для мальчиков в возрасте 1–7 лет модель имеет вид:

$$\text{высота мозга} = 13,7 + 0,77 \times \text{вертикальный размер черепа.}$$

Для мальчиков в возрасте 8–15 лет модель имеет вид:

$$\text{высота мозга} = 16,5 + 0,79 \times \text{вертикальный размер черепа.}$$

Для юношей в возрасте 16–20 лет модель имеет вид:

$$\text{высота мозга} = 15,1 + 0,81 \times \text{вертикальный размер черепа.}$$

Для девочек в возрасте 1–7 лет модель имеет вид:

$$\text{высота мозга} = 10,9 + 0,85 \times \text{вертикальный размер черепа.}$$

Для девочек в возрасте 8–15 лет модель имеет вид:

$$\text{высота мозга} = 10,8 + 0,83 \times \text{вертикальный размер черепа.}$$

Для девушек в возрасте 16–20 лет модель имеет вид:

$$\text{высота мозга} = 10,9 + 0,83 \times \text{вертикальный размер черепа.}$$

Наибольшей информационной способностью обладают модели прогноза высоты мозга по известным вертикальным размерам черепа во всех гендерновозрастных группах с максимальным коэффициентом детер-

минации 0,94 и максимальным – 0,69. Несколько меньшей информационной способностью и точностью обладают модели прогноза ширины и длины мозга по соответствующим размерам черепа. Коэффициент детерминации во всех половозрастных группах превышал значение 0,72, что обеспечивает модели из медицинской и биологической области допустимую прогностическую способность.

Таким образом, применение современного информативного метода визуализации головного мозга и черепа – магнитно-резонансной томографии, разработка нового алгоритма витального краниометрического и энцефалометрического обследования, использование современного аппарата статистического анализа позволили нам сделать определенные выводы по закономерностям постнатального морфогенеза головного мозга и черепа человека.

ВЫВОДЫ

1. Головной мозг и череп на всех этапах морфогенеза развиваются в тесной взаимосвязи, однако их развитие происходит неравномерно во времени и пространстве. Это проявляется в неодинаковой интенсивности роста продольных, поперечных и вертикальных размеров.

2. Период относительной стабильности морфометрических параметров головного мозга и черепа, оцениваемый по динамике увеличения продольного, поперечного и вертикального размеров исследуемых структур, начинается с 21 года.

3. В динамике роста продольного размера черепа и длины полушарий большого мозга можно выделить 3 этапа: у мужчин – I этап (1 год – 7 лет), II этап (9–13 лет), III этап (15–20 лет); у женщин – I этап (1 год – 7 лет), II этап (9–14 лет), III этап (16 лет – 21 год). Относительная стабильность роста продольного размера исследуемых структур приходится на период 8–9, 14–15 лет у мужчин и 8–9, 15–16 лет у женщин.

4. Динамика интенсивности роста поперечного размера черепа и ширины различных отделов головного мозга происходит у мужчин и женщин одинаково, в 2 этапа: I этап (1 год – 13 лет) и II этап (15–20 лет). Стабилизация поперечных размеров исследуемых структур приходится на период 13–15 лет.

5. Динамика интенсивности роста вертикального размера черепа и высоты различных отделов головного мозга происходит в 2 этапа: у мужчин – I этап (1 год – 6 лет), II этап (15–20 лет); у женщин – I этап (1 год – 6 лет), II этап (15 лет – 21 год). Между двумя периодами интенсивного вертикального увеличения находится период стабилизации – с 7 до 14 лет.

6. Гендерные различия морфометрических показателей головного мозга прослеживаются на всех этапах постнатального морфогенеза, однако они наиболее выражены в возрасте 10–16 лет. При этом у лиц мужского пола отмечается тенденция к относительному преобладанию размеров большого мозга, а у женского пола – размеров структур ствола мозга. Половая изменчивость морфометрических показателей мозгового черепа заключается в преобладании всех размеров черепов у мужчин, за исключением энцефалочерепного указателя, который преобладает у женщин.

7. Выявленные морфометрические показатели межполушарной асимметрии мозга свидетельствуют о гетерохронности данного процесса: у новорожденных и детей до 3 лет размеры правого полушария преобладают над левым, затем наблюдается реверсия асимметрии – начиная с 4 года и до пожилого возраста левое полушарие в большинстве случаев больше правого.

8. Связь продольного и поперечного размеров черепа с возрастом преимущественно умеренная – коэффициент корреляции 0,41–0,44. Связь вертикального размера черепа с возрастом в периоды интенсивного роста близка к сильной или сильная – коэффициент корреляции 0,65–0,82. Выявленные связи позволяют создавать математические модели и номограммы размеров черепа для определенных возрастных категорий с высокой степенью информационной способности (95 %).

9. Длиннотные, широтные и высотные размеры большого мозга и мозжечка имеют сильную ($p > 0,7$) статистическую значимую ($p < 0,05$) корреляционную зависимость от морфометрических показателей черепа, что позволяет разрабатывать математические модели и номограммы и прогнозировать размеры основных параметров головного мозга по известным размерам черепа в различных гендерновозрастных группах.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Установленные прижизненно для различных возрастных групп постнатального онтогенеза размеры головного мозга и диапазон их варибельности служат показателем при объективизации метрических данных в клинической диагностике патологии мозга (отделения магнитно-резонансной и компьютерной томографии).

Разработанная математическая модель корреляции размеров черепа и возраста человека может быть использована в судебной медицине в качестве морфометрического эквивалента краниологических методов идентификации личности.

Разработанная математическая модель прогноза размеров головного мозга по размерам черепа представляет интерес для нейрохирургов в процессе объективизации стереотаксических расчетов и верификации данных, полученных другими, менее информативными способами медицинской нейровизуализации.

Гендерновозрастные особенности развития черепа и головного мозга целесообразно учитывать при изучении клинических данных в неврологии, нейрохирургии, педиатрии и гериатрии. Математически доказанная периодизация роста головного мозга и черепа представляет интерес для антропологов.

Разработанный алгоритм кранио- и энцефалометрического обследования и полученные морфометрические показатели прижизненной анатомии головного мозга и черепа могут быть использованы на лекциях и практических занятиях морфологических кафедр медицинских и биологических вузов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Топографо-анатомические особенности новорожденного / под ред. Е.М. Марголина. М.: Медицина, 1977. 280 с.
2. Блинков С.М., Глезер И.И. Мозг человека в цифрах и таблицах. М.: Медицина, 1964. 472 с.
3. Блуменгау Л.В. Мозг человека. Москва; Ленинград: Гос. издательство, 1925. 265 с.
4. Моренков Э.Д. Морфология мозга человека. М.: Изд-во МГУ, 1978. 194 с.
5. Привес М.Г., Лысенков Н.К., Бушкович В.И. Анатомия человека. СПб.: Гиппократ, 1997. 704 с.
6. Сапин М.Р., Никитюк Б.А. Антропологические подходы в анатомии человека // Морфология. 1992. Т. 102. № 5. С. 7-8.
7. Сперанский В.С. Основы медицинской краниологии. М.: Медицина, 1988. 288 с.
8. Твардовская М.В. Возрастные и половые особенности измерительных признаков черепа взрослого человека // Проблемы этнической антропологии и морфологии человека. Л.: Наука, 1974. С. 135-152.
9. Червяков А.В., Фокин В.Ф. Морфометрический и биохимический аспекты функциональной межполушарной асимметрии // Структурно-функциональные и нейрохимические закономерности асимметрии и пластичности мозга: материалы Всероссийской конференции с международным участием. М.: ИЗПИ «Информкига», 2006. С. 346-354.
10. Asymmetry of fetal cerebral hemispheres: in utero ultrasound study / R. Hering-Hanit [et al.] // Arch. Des. Child Fetal Neonatal. 2001. V. 85. P. 194-196.
11. Baer M.J., Harris J.E. A commentary on the growth of the human brain skull // Amer. J. Phys. Anthropol. 1969. V. 30. № 1. P. 39-44.
12. Drayer B.B. Imaging of the aging brain. 1. Normal findings // Radiology. 1988. V. 166. P. 785-796.
13. Fukuda H. Cigarette smoking is correlated with the periventricular hyperintensity grade on brain magnetic resonance imaging // Stroke. 1996. V. 27. № 4. P. 645-649.
14. Functional lateralization for auditory temporal processing in male and female rats / R.H. Fitch [et al.] // Behavioral Neuroscience. 1993. V. 107. P. 844-850.
15. Height of normal pituitary gland on MR- imaging: age and sex differentiation / M. Suzuki // J. Comput. Assist. Tomogr. 1990. V. 10. P. 36-39.
16. Kraemer J., Koester O. MR imaging of the lumbar spine (A teaching atlas). N. Y.: Thieme, 2003. 202 p.
17. Magnetic resonance imaging / ed. by D.D. Stark, W.G. Bradley. 3-nd ed. St. Louis etc.: Mosby, 1999. V. 1-3. 1936 p.
18. Salamon G., Raynaud C. Magnetic resonance imaging of the pediatric brain. An anatomical atlas. N. Y.: Raven, 1990. 361 p.
19. Suitsu N. Comparative studies on the growth of the corpus callosum // J. Comp. Neurol. 1920. V. 32. № 1. P. 35-60.
20. The pituitary fossa: a correlative anatomic and MR study / L. Mark [et al.] // Radiology. 2004. V. 153. P. 433-457.
21. Курбатов В.П. Морфометрия и топографические взаимоотношения структур головного мозга и сосудов вертебро-базиллярного бассейна человека по данным магнитно-резонансной томографии. Новосибирск, 2000. 23 с.
22. Economo C. Wie sollen wir Elitegehirne bearbeiten Messmethoden der Encephalometrie. Berlin, 1926. 14 S.
23. Knudsen P.A. Ventrikelenes størrelsesforhold: anatomisk normale hyerter fra voksne mennsker. Odense, 1958. 258 p.
24. Kretschmann H.Y., Wienrich W. Neuroanatomy and cranial computed tomography. Stuttgart: Thieme, 1986. 623 p.
25. Merkel F. Beiträge zur Kenntnis der postembryonalen Entwicklung des menschlichen Schädels // Festschrift für Henle. Bonn, 1882.
26. Rutherford M. MRI of the Neonatal Brain. London etc.: Mosby, 1998. 206 p.
27. Stark D., Bradley W. Magnetic resonance imaging. St. Louis: Mosby, 1992. 1267 p.
28. Voyer D., Flight J. Gender differences in laterality on dichotic task: the influence of report strategies // Cortex. 2007. V. 37. № 3. P. 345-362.
29. Степанович Л.И. Возрастная анатомия средней ножки мозжечка: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Каунас, 1962. 21 с.
30. Moore W.I. The mammalian skull // Cambridge Univ. Press. 1981. 370 p.
31. Миклашевская Н.Н. Рост головы и лица у детей и подростков // Рост и развитие ребенка / под ред. Н.Н. Миклашевской. М.: МГУ, 1973. С. 55-58.
32. Gefterth Ch.M. The growing skull. P.3. Dynamics of growth of the neurocranium // Acta paediatr. Hung. 2004. V. 25. № 1. P. 59-74.
33. Measurement of pituitary gland height with MR imaging / S.N. Wiener [et al.] // AYNR. 1985. № 6. P. 717-722.
34. Россолимо Г.И. Курс нервных болезней. М.: Гос. издательство, 1927. 779 с.
35. Юргутис А.А. Вариации веса и размеров головного мозга у человека: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Каунас, 1956. 22 с.
36. Фаизуллин М.Х. Череп и мозг в рентгеновском отображении. Казань: Татар. кн. изд-во, 1971. 136 с.

37. Кононова Е.П. Спинной мозг и периферические нервы. Мозжечок // Многоотомное руководство по неврологии. М.: Биомедгиз, 1955. Т. 1. С. 383-406.
38. Краев А.В. Анатомия человека. М.: Медицина, 1978. Т. 2. 352 с.
39. Rauber-Kopsch F. Handbuch und Atlas der Anatomie des Menschen. Leipzig, 1940. 15 Aufl. Bd. III. 897 S.
40. Crichton-Brown J. On the weight of the brain and its component parts in the insane // Brain. 1980. V. 2. P. 42-67.
41. Амуниц В.В. К вопросу об асимметрии структурной организации мозга мужчин и женщин // Функциональная межполушарная асимметрия. Хрестоматия. М.: Научный мир, 2007. С. 216-218.
42. Боголенова И.Н., Малофеева Л.И. Структурная асимметрия корковых формаций. М.: Изд-во РУДН, 2003. 155 с.
43. Wood F.B., Flowers D.L., Naylor C.E. Cerebral laterality in functional neuroimaging // Cerebral Laterality: Theory and Research / ed. F.L. Kitterle. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1991. P. 103-116.
44. Kumura D., Harshmann R. Sex differences in brain organization for verbal and nonverbal functions // Progress in Brain Research. 1984. V. 61. P. 125-127.
45. Lewi G. Studi sulla grandezza della cellula nervosa // Arch. Ital. di Anat. e di embriol. 1906. № 3. P. 208-219.
46. Stewart J., Kolb B. The effects of monobal gonadectomy and prenatal stress on cortical thickness and asymmetry in rats // Behavioral and Neurological Biology. 1988. V. 49. P. 344-360.
47. Stopford Y.S. The arteries of the pons and medulla oblongata // Y. Anat. a. Physiol. 1916. V. 50. № 11. P. 134-164.
48. Wada J.A. Pre-language and Fundamental asymmetry in the infant brain // Evolution and Lateralization of the brain: Annals of New York Academy of Sciences. 1977. V. 299. P. 370.
49. Waber D. Sex differences in cognition: a function of maturation rate? // Science. 1996. V. 192. P. 572-573.
50. Witelson J.F. Neural sexual mosaicism: Sexual differentiation of the human temporo-parietal region for functional asymmetry // Psychoneuroendocrinology. 1992. V. 16. P. 139-147.
51. CT appearance of adolescent and preadolescent pituitary gland / R.G. Peister [et al.] // AJNR. 1983. № 9. P. 411-414.
52. Cohen G. Hemispheric differences in the utilization of advance information // Attention and performance. N.Y.: Academic Press, 1975. P. 20-29.
53. Чернышев А.С., Блинков С.М. К вопросу о вариациях мозолистого тела мозга человека // Опухоли мозга и вопросы нейрохирургии. 1936. С. 381-388.
54. Bonneville J.F., Dietemann J.L. Radiology of the selle turcica. Berlin; Heidelberg; N. Y.: Springer, 1981. 654 p.
55. Hallet C.H. General remarks on anomalies of the venous system // Medical Times. 1848. V. 17. № 50. P. 72.
56. Martin K. Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung. Iena, 1914. 358 s.
57. Runge V.M. Clinical MRI. London etc.: Mosby, 2002. 510 p.

Поступила в редакцию 12 ноября 2010 г.

Baibakov S.E. Morphometrical equivalents of morphogenesis of brain and skull of person (on the example of inhabitants of Tambov region)

With Mr-tomography application many linear and volume sizes of a brain are defined. For the first time m indicators of age and sexual variability of a brain are defined. The new data in laws of growth of a brain and a skull is established. Correlation dependence between the sizes of a skull, a brain and its separate structures that has allowed constructing a mathematical forecasting model of the sizes of a brain on the sizes of a skull and the forecast of the sizes of a brain skull on age is found out. Application of a method of the Mr-tomography in neuro-anatomical research continues and develops methodological substantiations of application of a method of a magnetic resonant tomography in modern anatomy.

Key words: morphogenesis; morphometry; skull; brain.