

УДК 616.831-005-053.6:612.824

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КРОВΟΣНАБЖЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ 11–17 ЛЕТ

© 2005 г. И. Г. Андреева, Е. Г. Мишина

Институт возрастной физиологии Российской академии образования,
г. Москва

В статье представлены данные экспериментального исследования состояния кровоснабжения головного мозга у мальчиков 11–17 лет. Была установлена возрастная динамика соотношения между системным и мозговым кровообращением. При сопоставлении показателей центральной и церебральной гемодинамики выявлена корреляционная зависимость параметров церебральной фракции кровообращения от артериального давления и величины сердечного выброса. Отмечено, что с возрастом происходит увеличение зависимости величины церебральной фракции кровообращения от показателей сердечного выброса.

Ключевые слова: абсолютная и относительная величина церебрального кровотока, мозговое кровообращение, сосудистый тонус, сердечный выброс.

Исследования возрастных изменений различных состояний мозгового кровообращения у животных и человека широко проводятся на протяжении нескольких лет [3–5]. Отличительной особенностью работ, связанных с изучением возрастных преобразований мозгового кровообращения, является широкое применение реоэнцефалографического метода [10]. Несмотря на критику, которой реография время от времени подвергается, она имеет строгие границы информативности и надежности, является простым и безопасным методом оценки состояния церебрального и системного кровообращения [7].

Много лет приоритетным направлением в изучении возрастных изменений мозгового кровообращения была оценка интенсивности пульсового и объемного кровоснабжения (мл/100 г ткани/мин) [11]. Результаты многолетних исследований позволили установить, что с возрастом происходит экономизация мозгового кровообращения, величина объемного мозгового кровотока в период от 7 до 17 лет уменьшается в 2,5–3 раза [9].

Менее интенсивно развивалось направление изучения мозгового кровообращения, связанное с оценкой зависимости абсолютной и относительной величин церебральной фракции от величины сердечного выброса в возрастном аспекте [1, 6].

Однако попытки анализа возрастных преобразований общего церебрального кровотока до настоящего времени проводились на отдельных возрастных группах: 7–9, 18–22 [1] и 7–10, 11–14, 15–17 лет [8]. Видимо, объединение в одну группу детей, находящихся на разных стадиях полового созревания, не позволило получить представления о характере возрастных изменений мозгового кровообращения [2].

Целью нашей работы явилось изучение возрастных изменений общего мозгового кровотока (абсолютной и относительной величин церебральной фракции) у детей мужского пола 11–17 лет при исследовании по годам.

Методика исследования

Под наблюдением находилось 160 практически здоровых мальчиков среднего уровня физического развития, относящихся к 1-й и 2-й группам здоровья и занимающихся физической культурой по общей программе. Исследование выполнено в первой половине дня после предварительного отдыха детей. У каждого школьника измеряли артериальное давление автоматическим тонометром «Микролайф» (Швеция), определяли систолическое (САД, мм рт. ст.) и диастолическое (ДАД, мм рт. ст.) артериальное давление.

Использовался комплексный реоэнцефалокардиографический метод, включающий регистрацию трансторакальных тетраполярных импедан-

сных реоплетизмограмм по W. G. Kubicek и соавт. [12], их первых производных, а также битемпоральных реоэнцефалограмм по Н. Р. Палееву и соавт. [10] с применением компьютерного реографа «Рео-Спектр-2» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново).

При анализе реоэнцефалограмм головного мозга определяли следующие показатели: относительную (Им/о, %) и абсолютную (Км, мл/мин) величины церебральной фракции кровообращения; амплитуду артериальной составляющей волны; максимальную скорость быстрого ($V_{\max}$, Ом/с) и среднюю скорость медленного наполнения церебральных сосудов ($V_{\text{ср}}$, Ом/с); состояние тонуса резистивных сосудов устанавливали по показателям диастолического (ДИК, %) и диастолического (ДИА, %) индексов. Вычисляли ряд показателей системного кровообращения: ударный объем крови (УОК, мл), минутный объем крови (МОК, л/мин), частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин).

Обработка полученных данных проводилась на компьютере IBM PC Pentium III с использованием пакета стандартных статистических программ Microsoft Excel 8.0. Вычислялись средняя (M), ошибка средней (m); достоверность различий определяли по t -критерию Стьюдента, достоверным считался уровень значимости при $p < 0,05$. Проводился корреляционный анализ с вычислением коэффициента, учитывались значения $r > 0,3$.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования показали, что с возрастом у людей закономерно увеличивается систолическое артериальное давление, которое от 11 до 17 лет достоверно повышается. Преимущественно подъем максимального артериального давления происходил в период от 13 до 14 и от 15 до 16 лет ($p < 0,05$). Диастолическое артериальное давление изменялось плавно и в значительно меньшей степени. Показатели сердечного выброса у мальчиков от 11 до 17 лет закономерно увеличивались (табл. 1). Наиболее интенсивный рост ударного объема крови наблюдали в возрасте от 14 до 16 лет ($p < 0,05$). В период от 11 до 12 и от 13 до 14 лет УОК повышался медленнее. Минутный объем крови значительно увеличивался от 14 до 15 лет ($p < 0,05$), к 16—17 годам он достигал дефинитивных значений. С возрастом отмечается снижение ЧСС, наиболее значимо оно в период от 15 до 16 лет ($p < 0,01$).

В условиях относительного физического покоя обнаружено, что с возрастом происходит рост относительной величины церебральной фракции, характеризующей процентное отношение объемной скорости мозгового кровотока к минутному объему крови, которое в период от 11 до 17 лет повышается с $(10,700 \pm 0,669)$ до $(14,529 \pm 0,858)$ %. Наиболее интенсивный рост этого показателя отмечается в возрасте от 12 до 13 лет ($p < 0,05$), в 14—17 лет он волнообразно увеличивался. В возрасте 17 лет относительная величина церебральной фракции мозгового кровотока достигает значений, близких к дефинитивным (рисунок).

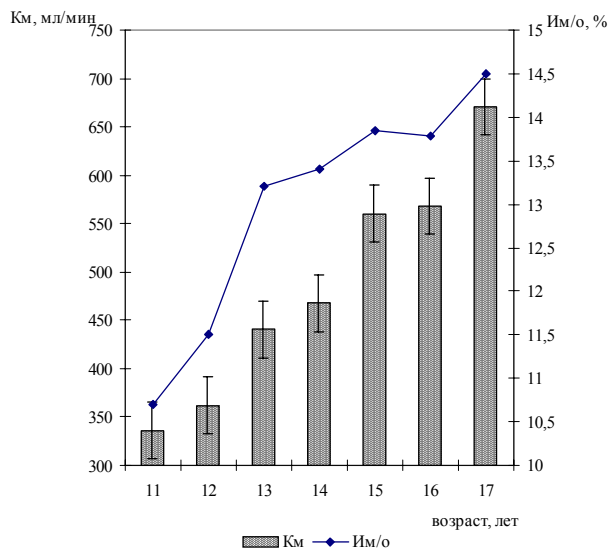
Таблица 1

Возрастные изменения центральной гемодинамики у мальчиков 11—17 лет в покое ($M \pm m$)

Возраст, лет	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	УОК, мл	МОК, л/мин	ЧСС, уд./мин
11	105,100 $\pm 2,040$	64,400 $\pm 1,459$	39,200 $\pm 1,739$	3,194 $\pm 0,159$	81,650 $\pm 2,112$
12	109,590 $\pm 1,954$	65,227 $\pm 1,297$	40,772 $\pm 2,503$	3,227 $\pm 0,176$	78,363 $\pm 3,313$
13	112,680 $\pm 1,681$	67,040 $\pm 1,389$	44,440 $\pm 2,141$	3,344 $\pm 0,133$	76,760 $\pm 1,987$
14	116,120 $\pm 1,891$	67,680 $\pm 1,139$	46,840 $\pm 2,339$	3,553 $\pm 0,140$	77,960 $\pm 2,438$
15	118,800 $\pm 1,340$	68,880 $\pm 1,136$	54,640* $\pm 2,584$	4,050* $\pm 0,157$	75,880 $\pm 2,292$
16	123,521* $\pm 1,951$	68,608 $\pm 1,388$	63,826* $\pm 2,672$	4,246 $\pm 0,176$	67,043** $\pm 1,808$
17	124,588 $\pm 2,049$	70,588 $\pm 1,480$	71,294 $\pm 3,634$	4,536 $\pm 0,205$	64,529 $\pm 2,537$

Примечание. Достоверные отличия по сравнению с предыдущей возрастной группой: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$.

По мере роста и развития школьников наблюдалось заметное повышение абсолютного значения объемной скорости церебрального кровотока. Периоды интенсивного повышения абсолютной величины церебральной фракции мозгового кровотока были отмечены в возрасте от 12 до 13, от 14 до 15 и от 16 до 17 лет ($p < 0,05$). От 15 до 16 лет наблюдался незначительный рост этого показателя (см. рисунок).



Возрастная динамика абсолютной и относительной величин церебральной фракции мозгового кровотока у мальчиков 11—17 лет

Величина мозгового кровотока у мальчиков за период развития от 11 до 17 лет возрастала в 2 раза. Вместе с тем доля мозгового кровотока (Им/о) в сердечном дебите также значительно увеличивалась, но в меньшей степени — в 1,4 раза.

Исследование выявило возрастную динамику тонических показателей мозгового кровотока у мальчиков 11—17 лет. Установлено, что с возрастом эластичность мозговых сосудов значительно повышается.

Тонус крупных, средних и мелких артерий, определенный по скоростным показателям, в возрасте от 11 до 16 лет увеличивается. Значение показателя максимальной скорости быстрого кровенаполнения на этом возрастном этапе снижается от $(1,231 \pm 0,091)$ до $(0,973 \pm 0,064)$ Ом/с. Подобная динамика отмечалась и при анализе показателя средней скорости медленного кровенаполнения, его значение уменьшалось от $(0,734 \pm 0,054)$ до $(0,573 \pm 0,040)$ Ом/с. В 17 лет отмечалось небольшое увеличение абсолютных значений этих показателей, но они были ниже исходных.

Величина амплитуды артериальной компоненты реограммы, позволяющая судить об интенсивности артериального притока и в какой-то мере о тоне церебральных артерий, у мальчиков в период от 11 до 17 лет уменьшалась в 1,2 раза.

Дикротический индекс, косвенно отражающий периферическое сосудистое сопротивление и сосудистый тонус на уровне прекапилляров резистивных сосудов, у мальчиков 11—17 лет уменьшался волнообразно. В период от 11 до 13 лет включительно он достоверно не изменялся, в 14 лет резко снижался ($p < 0,05$), а в 15—16 увеличивался с последующим снижением к 17 годам ($p < 0,001$).

Диастолический индекс, характеризующий процесс оттока крови из артерий в вены и тонус венозных сосудов от 11 до 15 лет волнообразно повышался, в 16 лет увеличивался до 73,9 %, а от 16 до 17 лет достоверно уменьшался ($p < 0,05$).

По современным представлениям, одним из основных видов регуляции мозгового кровообращения является обеспечение его относительной независимости от изменений центральной гемодинамики.

Мы попытались проанализировать возрастные изменения этого механизма регуляции мозгового кровотока с помощью корреляционного анализа показателей центральной гемодинамики, абсолютной и относительной величин церебральной фракции кровообращения.

Таблица 2

Матрица корреляции показателей центральной гемодинамики и мозгового кровообращения у мальчиков 11 лет ($r > 0,300$)

Параметр	САД	ДАД	УОК	МОК	ЧСС
Км	-0,36	-0,47	-0,34	—	0,79
Им/о	—	-0,43	-0,64	-0,37	0,79
Умакс.	0,51	0,56	—	—	—
Уср.	0,48	0,53	—	—	0,35
ДИК	0,57	0,50	0,43	—	-0,89
ДИА	0,59	0,57	0,39	—	-0,85

При изучении тонических параметров реоэнцефалограммы у мальчиков 11—17 лет установлена прямая корреляционная зависимость их от показателей артериального давления. Наиболее устойчивыми были корреляции Умакс. и Уср. с систолическим и диастолическим артериальным давлением. В возрасте 12—13 и 15—16 лет они были отрицательными, в 11 и 14

лет — положительными. В 16 лет наблюдалась высокая степень связи с ДАД (табл. 3). Количество корреляционных связей между показателями, характеризующими тонус церебральных артерий, и параметрами артериального давления с возрастом увеличивалось. Максимальное количество этих связей наблюдалось в 15—16 лет. В период активного полового созревания (12—14 лет) количество связей было минимальным.

Таблица 3

Матрица корреляции показателей центральной гемодинамики и мозгового кровообращения у мальчиков 16 лет ($r > 0,300$)

Параметр	САД	ДАД	УОК	МОК	ЧСС
Км	—	-0,40	0,39	0,63	—
Им/о	—	—	—	—	—
Умакс.	-0,38	-0,78	—	0,43	—
Уср.	-0,37	-0,78	—	0,44	—
ДИК	—	—	—	-0,52	—
ДИА	—	—	—	-0,65	-0,42

Выявлены обратные корреляции ДИК и ДИА с показателями артериального давления в возрасте 11 и 14—15 лет, у мальчиков 12—13 лет они отсутствовали.

Таким образом, в период активного полового созревания происходил распад корреляционных отношений, выявляемых в более раннем возрасте.

У мальчиков отмечалось наличие корреляционной связи между тоническими показателями реоэнцефалограммы и параметрами сердечного выброса. Наиболее устойчивыми были корреляции показателей, характеризующих тоническое состояние резистивных сосудов, с УОК и МОК, эта зависимость выявлялась во всех возрастных группах мальчиков, кроме группы 12-летних (табл. 2, 3).

При изучении влияния параметров артериального давления на количественные показатели абсолютной и относительной величин церебральной фракции мозгового кровотока максимальное количество связей прослеживалось в 11 и 14 лет (см. табл. 2), минимальное — в 15—16, в 12—13 лет значимые корреляции отсутствовали.

Во все возрастные периоды установлена корреляционная взаимосвязь Км и Им/о с показателями сердечного выброса — УОК и МОК. Максимальное количество связей наблюдалось в 11—12 и 14 лет.

Выводы

1. Возрастное развитие детей и подростков 11—17 лет характеризуется увеличением абсолютной и относительной величин церебральной фракции мозгового кровотока, однако его абсолютная величина возрастала в большей степени, чем доля мозгового кровотока в сердечном дебите.

2. Изменение величин скоростных показателей и снижение амплитудного параметра реоэнцефалограммы от 11 до 17 лет свидетельствуют об увеличении тонуса крупных средних и мелких артерий с возрастом. В период активного полового созревания зависи-

мость тонуса от показателей центральной гемодинамики не выявляется.

3. С возрастом уменьшается зависимость абсолютной и относительной величин церебральной фракции мозгового кровотока от показателей артериального давления. При этом зависимость их от показателей сердечного выброса увеличивается. Таким образом, возрастное увеличение абсолютных значений фракции мозгового кровотока связано не только с процессами роста объема мозговой ткани, но и с перестройкой механизмов регуляции общего мозгового кровообращения.

Список литературы

1. Москаленко Ю. Е. Формирование современных представлений о физиологии мозгового кровообращения: сравнительный анализ / Ю. Е. Москаленко, Г. Б. Вайнштейн // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. — 2001. — Т. 37, № 5. — С. 374—384.
2. Москаленко Ю. Е. Кровоснабжение головного мозга. Физиология кровообращения. Физиология сосудистой системы (Руководство по физиологии) / Ю. Е. Москаленко. — Л.: Наука, 1984. — 352 с.
3. Мchedlishvili Г. И. Микроциркуляция крови: общие закономерности регулирования и нарушений / Г. И. Мchedlishvili. — Л.: Наука, 1989. — 296 с.
4. Тупицын И. О. Развитие системы кровообращения / И. О. Тупицын, И. Г. Андреева, В. Н. Безобразова и др. // Физиология развития ребенка (теоретические и прикладные аспекты) — М., 2000. — С. 148—167.
5. Седов В. П. Возможности современных неинвазивных методов исследования в оценке мозгового и периферического кровообращения / В. П. Седов, Е. Н. Носенко // Клинический вестник. — 1996. — № 1. — С. 33—35.
6. Jacquy V. Regional cerebral blood flow in children. A rheoencephalographic study of the modification induced by reading / V. Jacquy, P. Neoel, A. Segers et al. // EEG a Clin. Neurophysiol. — 1977. — Vol. 42. — P. 691—696.
7. Тупицын И. О. Индивидуальные особенности развития системы кровообращения школьников / И. О. Тупицын, В. Н. Безобразова, С. Б. Догадкина и др. — М.: ИВФ РАО, 1995. — 64 с.
8. Палеев Н. Р. Неинвазивный способ определения объемной скорости церебрального кровотока и ее соотношение с минутным объемом сердца / Н. Р. Палеев и др. // Кардиология. — 1980. — № 1. — С. 54—57.
9. Исупов И. Б. Системный анализ церебрального кровообращения / И. Б. Исупов. — Волгоград: Перемена, 2001. — 138 с.
10. Соломко А. П. Суточная ритмика центральной гемодинамики и психической работоспособности у здоровых лиц 7—17 лет, проживающих на различных высотах: Автореферат дис. ... канд. мед. наук / Соломко А. П. — Бишкек, 1992. — 21 с.
11. Колесов Д. В. Физиолого-педагогические аспекты полового созревания / Д. В. Колесов, Н. Б. Сельверова. — М.: Педагогика, 1978. — 145 с.
12. Kubicek W. G. Impedance cardiography as a noninvasive method parameters of the cardiovascular system / W. G. Kubicek, R. P. Patterson, D. A. Wetsae // Ann N. Y. Acad. Sci. — 1970. — Vol. 170, N 2. — P. 724—732.

AGE CHANGES OF BRAIN BLOOD SUPPLY IN CHILDREN AND ADOLESCENTS AT THE AGE 11—17 y.o.

I. G. Andreeva, E. G. Mishina

Institute of Age Physiology Russian Academy of Education, Moscow

In the article, the data of the experimental study of brain blood supply state in boys at the age 11—17 y.o. are presented. The age dynamics of the correlation between systemic and cerebral blood circulation has been detected. By comparing of central and cerebral hemodynamics indices, the correlation dependence of parameters of cerebral fraction blood circulation on arterial blood pressure and cardiac ejection quantity has been revealed. It has been found out that with age, dependence of cerebral fraction blood circulation on heart ejection indices increases.

Key words: absolute and relative quantity of cerebral blood flow, cerebral blood circulation, vascular tension, cardiac ejection.