

## ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОЗГОВОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ ОРГАНИЗМА

Русанов В.Б., *Владимирский государственный педагогический университет*

**Введение.** Ангиотонические изменения в процессе становления системы церебральной гемодинамики, во многом, определяют особенности ее реагирования на различные внешние воздействия. При этом, уровень сформированности ауторегуляционных процессов и самой системы мозгового кровообращения детерминирует информационные процессы, обеспечивая оптимизацию метаболизма корковых нейронов. В процессе изменения характера интеллектуальной деятельности формируется комплекс реакций системы мозгового кровообращения, который характеризует ее возможности в плане сохранения определенного уровня метаболизма и поддержания умственной работоспособности [4,5,6]. В подростковом возрасте эти изменения носят неоднозначный характер. В связи с этим специфика организации информационной и учебной среды, в условиях которой находится формирующийся организм, в значительной степени сказывается на одной из вегетативных детерминант интеллектуальных процессов – мозговом кровообращении.

**Цель исследования:** Анализ функционального состояния церебральной гемодинамики и сосудистой системы головного мозга в условиях информационной и учебной среды школьников 16-17 лет

**Материал и методы исследования.** В исследовании представлен динамический анализ функциональных изменений системы мозговой гемодинамики, выполненный методом реоэнцефалографии (РЭГ) у 154 подростков 16-17 лет (86 девушек и 68 юношей), во время обучения в 10-м классе (1-е обследование), а затем в аналогичный период в 11-м (2-е обследование) в естественных условиях учебного процесса. Функциональные особенности церебральной гемодинамики, являющиеся метаболическим субстратом умственной деятельности, в первую очередь можно проследить, анализируя количественные характеристики уровня кровенаполнения симметричных сосудистых областей. Церебральный кровоток регистрировался по стандартной схеме во фронтально-мастоидальном (FM) и окципито-мастоидальном (OM) отведениях. Анализировалась гемодинамика в а.сarotis и а.vertebralis правого и левого полушарий отдельно.

Следует заметить, что на сегодняшний день достаточно трудно соотнести имеющиеся в литературе сведения разных авторов относительно друг друга [2], поскольку отсутствуют стандартизированные возрастные нормативы, даже по основным РЭГ-показателям, что необходимо для наиболее полного представления о возрастных особенностях мозгового кровообращения формирующегося организма. В связи с этим, для анализа, были выбраны несколько количественных показателей, наиболее адекватно отражающие тенденцию формирования мозговой гемодинамики на основе тонического состояния мозговых сосудов, такие как:

*Амплитуда систолической волны (С, Ом)* – отражающая уровень кровенаполнения сосудов исследуемого региона.

*Максимальная скорость периода быстрого (Vб, Ом/с) и средняя скорость периода медленного (Vm, Ом/с) наполнения* – основные показатели, используемые для оценки тонуса на уровне крупных и мелких артерий соответственно.

*Межамплитудный показатель диастолической волны (MKd)* – косвенно характеризующий венозный отток.

*Коэффициент асимметрии (КА)* – использующийся для количественной оценки различного уровня кровенаполнения симметричных сосудистых бассейнов.

Для изучения влияния кратковременного умственного напряжения на мозговую гемодинамику был использован тест Э.Ландольта [3]. До начала исследования всем испытуемым проводили РЭГ-исследование, затем, не снимая ранее наложенных электродов, предлагали выполнить тест, задание которого состояло в дифференциации стимулов, близких по форме и содержанию, в течение точно определенного времени.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием пакета анализа «Microsoft Excel». Рассчитывались средние значения всех полученных в ходе исследования показателей (M), ошибка репрезентативности ( $\pm m$ ), вариационный разброс значений каждого показателя ( $\pm \sigma$ ). При сравнении результатов проводилась оценка достоверности различий с использованием двухвыборочного Т-теста.

В рамках исследования было зарегистрировано и проанализировано 1052 реоэнцефалограммы.

#### **Результаты исследования и их обсуждение.**

На первом этапе исследования, рассматривался возрастной аспект мозговой гемодинамики старших школьников, который является чрезвычайно важным для правильной интерпретации специфических цереброваскулярных реакций организма в

условиях адекватных естественной деятельности.

Помимо возрастных особенностей церебральной гемодинамики нам казалось необходимым рассмотреть и другой вопрос – существуют ли различия ее показателей среди исследуемого контингента.

Для решения этих вопросов анализировались показатели церебральной гемодинамики подростков, принимавших участие в исследовании. Все школьники практически здоровы, с отсутствием в анамнезе травм головного мозга, неврологических и энцефалографических нарушений.

После статистической обработки экспериментальных данных было проведено сравнение среднегрупповых показателей мозговой гемоциркуляции и тонического состояния сосудов головного мозга между группами юношей и девушек.

Первым из анализируемых показателей была выбрана амплитуда систолической волны, значения которой характеризуют уровень кровенаполнения исследуемого региона. После математического анализа ее значений статистически значимые межгрупповые различия отмечены в бассейне позвоночных артерий обоих полушарий: С (Ом)  $0,07 \pm 0,003$  и  $0,09 \pm 0,003$  у юношей и девушек соответственно.

Кроме того, достоверные отличия обнаружены нами в тоническом состоянии артерий выполняющих функцию внутримозгового распределения кровотока, причем в обоих исследуемых регионах, как правого, так и левого полушарий. Максимальная скорость периода быстрого кровенаполнения в группе юношей составила во фронтально-мастоидальном отведении слева  $1,07 \pm 0,05$  м/с, в этом же отведении справа  $1,03 \pm 0,06$  Ом/с. В окципитально-мастоидальном отведении  $0,84 \pm 0,04$  Ом/с слева и  $0,84 \pm 0,03$  Ом/с справа. В группе девушек значения этих же показателей составили соответственно (Ом/с):  $1,31 \pm 0,05$  (FMс);  $1,24 \pm 0,05$  (FMд);  $1,09 \pm 0,04$  (OMс);  $1,07 \pm 0,05$  (OMд).

На уровне артерий сопротивления, по показателю средней скорости периода медленного кровенаполнения, достоверно различается тоническое состояние артерий вертебробазилярного бассейна. У юношей в правом полушарии показатели  $V_m$  (Ом/с) соответствовали значениям  $0,58 \pm 0,03$ , в левом  $0,55 \pm 0,03$ . У девушек слева  $0,73 \pm 0,04$ , справа  $0,70 \pm 0,03$ . В районе каротидных артерий такие различия установлены нами только для показателей, характеризующих тонус мелких артериальных сосудов левого полушария мозга. У юношей значения средних скоростей медленного наполнения, зарегистрированные в данном сосудистом регионе, составляли  $0,73 \pm 0,04$  Ом/с, у девушек  $0,85 \pm 0,04$  Ом/с.

Анализ межамплитудного коэффициента диастолической волны, на основании которого, как отмечено выше, можно получить информацию о состоянии венозного оттока, показал, что названный кровоток находится в пределах нормы у 15,2% юношей и 17,1% девушек, принявших участие в исследовании.

У остальных лицестов мы регистрировали значения показателей МКd характеризующие венозный отток как затрудненный. Причем у 24,2% школьников и 21,9% школьниц затруднение венозного оттока было одинаково выражено в обоих полушариях мозга.

Следует так же отметить, что только у 9,1% юношей и 9,8% девушек венозный отток затруднен больше в правом полушарии головного мозга, а у остальных в левом.

Сосудистая система головного мозга на этом возрастном этапе является достаточно сформированной [1,2]. Однако в процессе анализа параметров мозговой гемодинамики старших школьников нами были получены несколько более высокие значения показателей мозговой гемодинамики у девушек-старшеклассниц. Причем, значения большинства показателей имели статистически достоверные различия. Возможно такая ситуация объясняется особенностями развития женского организма, формирование которого заканчивается на более ранних этапах онтогенеза. Как результат, пульсовое кровенаполнение и вазоактивность церебральных сосудов у девушек достигают дефинитивного уровня на более ранних стадиях пубертата.

Динамика цереброваскулярных изменений в процессе двухлетнего исследования характеризовалась выраженным снижением, особенно у юношей, показателей амплитуды систолической волны С (Ом) в соответствующем сосудистом регионе. В результате, тенденция формирования системы мозговой гемодинамики была направлена на снижение у старшеклассников, как юношей, так и девушек, пульсового кровенаполнения в бассейне внутренних сонных артерий. Эти изменения сопровождалось повышением тонуса крупных артериальных мозговых стволов. Причем, в районе сонных артерий обеих полушарий с достоверной разницей ( $p < 0,05$ ). Подобная динамика наблюдалась и на уровне более мелких артерий, тонус которых так же достоверно повышался от первого ко второму обследованию.

На момент первого обследования эластичность мозговых сосудов у старшеклассников обоего пола находилась на достаточно низком уровне.

На момент второго обследования у лицестов-юношей произошло повышение тонуса сосудов крупных артериальных мозговых стволов. Причем, в районе сонных

артерий обоих полушарий с достоверной разницей ( $p < 0,05$ ). Показатели  $V_b$  снизились в левом полушарии до  $1,13 \pm 0,05$  Ом/с, и до  $1,12 \pm 0,05$  Ом/с в противоположном. В районе позвоночных артерий соответственно до  $0,76 \pm 0,06$  Ом/с и  $0,82 \pm 0,05$ .

Подобная динамика наблюдалась и на уровне более мелких артериальных стволов, тонус которых так же достоверно повышался от первого ко второму обследованию.

У девушек, принимавших участие в исследовании, изменения тонического состояния церебральных сосудов были менее выраженными.

Тоническое состояние интракраниальных сосудов, как на уровне крупных, так и более мелких артерий и артериол, менялись у школьниц в течение двух учебных лет незначительно и статистически недостоверно.

У старшеклассников, как юношей, так и девушек, в течение двухлетнего обучения в школе, менялся уровень кровенаполнения сосудов обоих полушарий головного мозга. Причем, в ходе исследования была нами выявлена устойчивая тенденция, свидетельствующая о снижении показателей, характеризующих уровень кровенаполнения мозговых сосудов.

На момент второго обследования значения  $C$  (Ом) снизились у юношей в лобных отделах мозга слева до  $0,09 \pm 0,007$  Ом ( $p < 0,05$ ), справа до  $0,09 \pm 0,003$  Ом ( $p < 0,001$ ). В базальных отделах до  $0,08 \pm 0,007$  Ом слева ( $p < 0,01$ ) и  $0,07 \pm 0,007$  Ом ( $p > 0,05$ ) справа.

У девушек во всех отведениях так же были зарегистрированы более низкие, по сравнению с первым обследованием, значения этого показателя:  $0,11 \pm 0,01$  Ом ( $p > 0,05$ ) во фронтально-мастоидальном отведении слева и  $0,10 \pm 0,005$  Ом ( $p > 0,05$ ) справа; в окципитально-мастоидальном отведении  $0,08 \pm 0,007$  Ом слева ( $p < 0,05$ ),  $0,07 \pm 0,007$  Ом справа ( $p < 0,01$ ).

В старшем школьном возрасте сложнокоординированная деятельность вызывает активацию в премоторных и префронтальных областях коры, и, соответственно усиление интенсивности мозгового кровотока и снижение тонического напряжения церебральных артерий малого калибра, преимущественно в лобных отделах. Однако, чрезмерное влияние информационного стресса влечет за собой повышение напряжения артериальных структур, что приводит к значительному снижению пульсового кровенаполнения, особенно выраженному в бассейне внутренних сонных артерий. Падение величин кровенаполнения в наиболее мощном магистральном сосуде, которым является каротидная артерия, косвенно свидетельствует о нервно-эмоциональном напряжении и дискоординации механизмов ауторегуляции мозгового кровообращения.

Анализ индивидуальных показателей мозговой гемодинамики позволил выделить несколько групп школьников с различными характеристиками уровня мозгового кровотока.

У большинства юношей кровотоки в бассейне внутренних сонных артерий, как правого, так и левого полушарий снижены значительно, причем это снижение регистрировалось на фоне гипертонуса артерий распределения и более мелких артерий сопротивления (54,5% и 57,6% для соответствующих полушарий мозга).

В бассейне позвоночных артерий у несколько большего количества юношей-лицеистов (42,4%) умеренное снижение кровотока регистрировалось в левом полушарии.

У девушек снижение эластичности мозговых сосудов и соответственно явления вазоспазма менее выражены. В ходе исследования у преобладающего количества старшеклассниц мы регистрировали умеренное повышение тонического напряжения артериальных сосудов (48,8%) в каротидных артериях левого полушария. В правом полушарии умеренный и значительный вазоспазм мы наблюдали соответственно у 39% и 43,9% девушек.

Тоническое состояние вертебральных артерий у девушек, принимавших участие в исследовании, находилось на уровне более близком к оптимальному. В левом полушарии показатели, характеризующие артериальный тонус как соответствующий относительной возрастной норме регистрировались нами у 39% старшеклассниц. Умеренный спазм сосудов описываемого региона мы регистрировали у 41,5%. В правом полушарии умеренное повышение тонического напряжения наблюдалось у 34,1%. В пределах нормы артериальный тонус находился у 48,8% девушек.

Воздействие умеренных информационных нагрузок вызывало противоположный эффект. Направленность динамических изменений в процессе кратковременного умственного напряжения характеризовалась повышением кровенаполнения в исследуемых регионах на фоне вазодилатации как крупных, так и более мелких артерий. При этом, общая тенденция компенсаторных реакций была направлена на поддержание уровня кровотока в бассейне внутренней сонной артерии, как наиболее мощном магистральном сосуде, за счет перераспределения церебрального кровотока между фронтальными и базальными областями мозга. Увеличение кровенаполнения сопровождалось снижением тонического напряжения сосудов в соответствующем регионе на фоне вазодилатационного эффекта сосудов разного калибра.

Функциональные перестройки в системе мозговой гемодинамики до и после

выполнения теста Ландольта свидетельствуют о том, что у юношей во фронтальных отделах левого полушария умственная нагрузка вызывала повышение кровенаполнения на фоне снижения тонуса артерий распределения (максимальная скорость периода быстрого кровенаполнения увеличивалась с  $0,92 \pm 0,04$  Ом/с до  $0,98 \pm 0,06$  Ом/с) и некоторого незначительного повышения тонуса артерий сопротивления (средняя скорость периода медленного кровенаполнения снижалась с  $0,53 \pm 0,03$  Ом/с до  $0,51 \pm 0,05$  Ом/с). В правом полушарии уровень кровенаполнения при предъявлении интеллектуальных стимулов увеличивался с  $0,08 \pm 0,006$  Ом до  $0,09 \pm 0,004$  Ом одновременно со снижением тонического напряжения как крупных, так и более мелких артерий.

У девушек в ходе эксперимента мы так же наблюдали значительное усиление кровотока в лобных отделах обоих полушарий. Значения амплитуды систолической волны статистически достоверно ( $p < 0,01$ ) увеличивались с  $0,09 \pm 0,006$  до  $0,11 \pm 0,004$  Ом/с в правом полушарии и с  $0,08 \pm 0,004$  до  $0,10 \pm 0,004$  Ом/с в левом. Увеличение кровенаполнения сопровождалось снижением тонического напряжения сосудов в соответствующем регионе на фоне о вазодилатационного эффекта сосудов разного калибра.

В течение двух учебных лет происходили следующие динамические изменения показателей характеризующих венозную циркуляцию. У юношей среднегрупповые значения МКd статистически достоверно менялись в сторону его снижения во всех отведениях. У девушек достоверно изменялись только значения межамплитудного коэффициента диастолической волны в базальных отделах.

Кратковременная умственная нагрузка у юношей, приводила к усилению венозного оттока. Показатели МКd достоверно различались до и после проведенного теста в FMs отведении ( $p < 0,001$ ), а так же в OMs и OMd ( $p < 0,05$  в обоих случаях). В FMd отведении различия в этих показателях были недостоверны.

В группе девушек во всех отведениях, кроме FMd достоверно снижались регистрируемые в ходе эксперимента значения МКd, что характеризует некоторое увеличение интенсивности венозной циркуляции под влиянием экспериментальной умственной нагрузки.

В процессе реализации интеллектуальной деятельности формируются избирательные объединения мозговых структур, вовлеченных в конкретную деятельность. На клеточном уровне организации нервной системы процесс формирования таких функциональных взаимоотношений проявляется в использовании в разных условиях



функционирования и в разных комбинациях одних и тех же групп нейронов, причем временные характеристики их гемодинамического обеспечения обусловлены онтогенетическими особенностями и степенью влияния учебной ситуации.

Вербальная деятельность оказывает наибольшее влияние на левое полушарие, которому необходимо увеличение интенсивности кровотока [1,7,8]. Признаки дискоординации в вазомоторных центрах, и как следствие, нарушение некоторых рефлекторных реакций возникают в момент рассогласования между метаболическими потребностями структур мозга и возможностью их удовлетворения.

В мужском организме, на подростковом этапе развития, эти явления выражены в большей степени, что, во многом, обусловлено несовершенством механизмов ауторегуляции мозгового кровообращения. У девушек, адекватные характеру интеллектуальной деятельности, реакции системы мозговой гемодинамики, позволяют поддерживать оптимальный уровень церебральной гемодинамики именно за счет сформированности механизмов регуляции мозгового кровообращения.

В учебном цикле наблюдалась следующая тенденция изменения количества учащихся имеющих межполушарную асимметрию кровенаполнения. В 10-м классе асимметрия кровенаполнения была нами выявлена у 46,7% юношей и 66,7% девушек в бассейне внутренних сонных артерий и у 60% юношей и 70% девушек бассейне позвоночных. Большинство школьников, принимавших участие в исследовании, имели левостороннюю асимметрию кровенаполнения: в районе a.carotis 36,7% юношей и 46,7% девушек, в районе a.vertebralis 33,3% школьников и 46,7% школьниц. У 53,3% лицеистов и 33,3% старшекласниц в передних отделах мозга асимметрия кровенаполнения отсутствовала, в задних отделах асимметрии кровенаполнения нами так же обнаружено не было у 40% юношей и 30% девушек. Через год, в 11-м классе, количество школьников имеющих левостороннюю асимметрию кровенаполнения во фронтальных отделах мозга уменьшилось при этом в группе юношей до 26,7%, а в группе девушек до 33,3%. Количество лицеистов имеющих таковую в базальных отделах осталось практически неизменным – 30% юношей и 40% девушек. В течение двух учебных лет менялось количество школьников с правосторонней асимметрией кровенаполнения. В районе каротидных артерий это количество увеличилось до 20% у юношей и 30% у девушек. В районе вертебробазиллярных соответственно до 33,3% и 30%. Во время обучения в выпускном классе количество школьников с отсутствием асимметрии в изучаемых регионах осталось на том же уровне и составило среди юношей и девушек



соответственно: 53,3% и 36,7% – бассейн a.carotis; 36,7% и 30% a.vertebralis.

Интерпретация, полученных в ходе исследования данных, позволила нам сформулировать несколько положений, позволяющих понять закономерности формирования системы мозгового кровообращения.

#### **Выводы:**

1. Заключительные стадии периода полового созревания характеризуются снижением показателей характеризующих пульсовое кровенаполнение головного мозга, особенно выраженными в бассейне внутренних сонных артерий, на фоне увеличения тонуса артериальных сосудов.

2. Умеренные интеллектуальные нагрузки приводят к сдвигам церебрального кровотока, направленным на увеличение кровенаполнения лобных отделов коры головного мозга и вазодилатации сосудов этих областей. Причем, увеличение кровенаполнения фронтальных областей мозга компенсируется снижением его интенсивности в базальных отделах.

3. Система мозговой гемодинамики девушек на данном возрастном этапе является более сформированной по сравнению с юношами. Об этом свидетельствуют гемодинамические показатели, характеризующие церебральный кровоток, которые устанавливаются на уровне близком к уровню взрослых.

4. Мозговое кровообращение юношей является более лабильным. Умственные нагрузки вызывают у них разнонаправленные церебрально-ангиотонические реакции, что возможно связано с их более медленным половым созреванием и незрелостью ауторегуляторных механизмов.

5. Характерной особенностью, установленной в процессе исследований, является наличие межполушарной асимметрии кровенаполнения. Причем, у большинства школьников левосторонней.

#### **Список литературы:**

1. Индивидуальные особенности развития системы кровообращения школьников. / под. Ред. Тупицына И.О. – М.: ИВФ РАО, 1995 – 64 с.
2. Ронкин М.А., Иванов Л.Б. Реография в клинической практике. – М.: МБН, 1997 – 403 с.
3. Сысоев В.М. Методика диагностики работоспособности. Тест Э. Ландольта. – Санкт-Петербург: Иматон, 1996 – 29 с.
4. Федоров Б.М. Стресс и система кровообращения. – М.: Мед., 1990 – 320 с.

5. Федоров Б.М. Стресс, кардиологические аспекты // Физиология человека. – 1997. – Т.23, №2 – с.89-99.
6. Хилько В.А., Москаленко Ю.Е., Гайдар Б.В. и др. Особенности цереброваскулярной реактивности сосудов головного мозга человека // Физиологический ж-л СССР. – 1989. – Т.75, №11. – С.1489 – 1502.
7. Ingvar D.H. Memory of future: an essay on temporal organization of conscious awareness // Human Neurobiol. – 1985, №3. – P.127.
8. Roland P.E. Cortical organization of voluntary behavior in man // Human Neurobiol. – 1985. – Vol.4, №3. – P.155.