

УДК 612.13

ОСОБЕННОСТИ МОЗГОВОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ ЗАДАЧИ

Чуб И.С., Борейко А.П., Кунавин М.А., Черкасова А.С., Преминина О.С.

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
Архангельск, e-mail: i.chub@narfu.ru*

Когнитивная деятельность человека опосредована состоянием мозгового кровотока. В силу отсутствия запасов энергетических субстратов в тканях ЦНС и высоких запросов в них со стороны нейронов головного мозга необходимо, чтобы механизмы регуляции церебральной гемодинамики работали слаженно и бесперебойно. В последнее время отмечается рост числа подобных заболеваний в молодом возрасте, только за одно пятилетие частота таких патологий увеличивается в 2–2,5 раза. Среди факторов риска, встречающихся во всех возрастно-половых группах, в том числе и у студентов, выделяют стресс, злоупотребление никотином и алкоголем, избыточную массу тела и ожирение, погрешности в диете, низкую физическую активность. Исходя из актуальности работы сформулирована цель – изучить особенности мозговой гемодинамики у студентов в процессе выполнения когнитивной деятельности разного уровня сложности. В исследовании принимали участие 20 студентов-юношей САФУ в возрасте от 18 до 22 лет (средний возраст группы составил $20,0 \pm 0,37$ года). Регистрация реоэнцефалограмм проводилась методом тетраполярной РЭГ на аппаратно-программном комплексе «Рео-спектр-2» («Нейрософт», Иваново). РЭГ регистрировалась в покое и при выполнении когнитивных задач разного уровня сложности. Групповой анализ параметров мозгового кровообращения у студентов в покое показал, что состояние кровотока по большинству показателей соответствует физиологическим нормам. Наблюдается снижение тонуса сосудов распределения. Параметры церебральной гемодинамики различаются при выполнении когнитивных задач разной сложности. Простая когнитивная задача вызывает повышение сосудистого тонуса в сосудах распределения в левой ветви вертебро-базиллярного бассейна, при этом увеличиваются сосудистое сопротивление и венозный отток в задних отделах мозга. Выполнение сложной когнитивной задачи приводит к снижению пульсового кровенаполнения во всех отделах сосудистого русла, особенно в левом полушарии. При этом повышается тонус сосудов распределения в бассейне левой общей сонной артерии, усиливается венозный отток из данного региона.

Ключевые слова: студенты, мозговая гемодинамика, реоэнцефалография, когнитивная задача, стресс

FEATURES OF CEREBRAL HEMODYNAMICS IN STUDENTS IN THE PROCESS OF PERFORMING A COGNITIVE TASK

Chub I.S., Boreyko A.P., Kunavin M.A., Cherkasova A.S., Preminina O.S.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, e-mail: i.chub@narfu.ru

Human cognitive activity is mediated by the state of cerebral blood flow. Due to the lack of reserves of energy substrates in the tissues of the central nervous system and high demands in them from the neurons of the brain, it is necessary that the mechanisms of regulation of cerebral hemodynamics work smoothly and smoothly. Recently, there has been an increase in the number of such diseases at a young age; in just one five-year period, the frequency of such pathologies increases 2–2.5 times. Among the risk factors found in all age and sex groups, including students, stress, abuse of nicotine and alcohol, overweight and obesity, inaccuracies in the diet, and low physical activity are distinguished. Based on the relevance of the work, the goal was formulated – to study the features of cerebral hemodynamics in students in the process of performing cognitive activities of different levels of complexity. The study involved 20 NarFU male students aged 18 to 22 years (the average age of the group was 20.0 ± 0.37). Registration of rheoencephalograms was carried out by the tetrapolar REG method on the hardware-software complex «Rheo-spectrum-2» («Neurosoft», Ivanovo). REG was recorded at rest and when performing cognitive tasks of various levels of complexity. A group analysis of the parameters of cerebral circulation in students at rest showed that the state of blood flow for most of the indicators corresponds to physiological norms. There is a decrease in the tone of distribution vessels. Cerebral hemodynamic parameters differ when performing cognitive tasks of varying complexity. A simple cognitive task causes an increase in vascular tone in the distribution vessels in the left branch of the vertebrobasilar basin, an increase in vascular resistance and venous outflow in the posterior parts of the brain. Performing a complex cognitive task leads to a decrease in pulse blood filling in all parts of the vascular bed, especially in the left hemisphere. At the same time, the tone of the distribution vessels in the basin of the left common carotid artery increases, and the venous outflow from this region increases.

Keywords: Students, cerebral hemodynamics, rheoencephalography, cognitive task, stress

Студенческий возраст характеризуется высокой готовностью центральной нервной системы к когнитивным нагрузкам, обеспечивающей оптимальный уровень умственной работоспособности. Вследствие этого предъявляются повышенные требования к обеспечению интенсивного мозгового

кровообращения, которое характеризуется значительной степенью ауторегуляции и независимости от центральной гемодинамики. В исследованиях различных авторов отмечается повышение общего уровня обменных процессов до 16% относительно покоя даже при выполнении легкой когни-

тивной задачи в виде чтения про себя; если чтение осуществляется вслух, уровень обмена повышается на 46% [1]. Выполнение корректурных проб в условиях ограничения времени, сопровождающееся значительным психоэмоциональным напряжением, приводит к повышению у студентов уровня систолического артериального давления, частоты пульса, снижению вариативности кардиоритма [2]. При интенсивном восприятии новой информации увеличивается длительность сердечных циклов [3]. Отмечается снижение репарационных механизмов реализации генетической информации в связи с интенсивным психоэмоциональным напряжением у обучающихся в период экзаменационной сессии [4]. Обеспечение должного уровня кровообращения головного мозга является лимитирующим фактором освоения учебных программ студентами [5]. Изменения мозговой гемодинамики под влиянием когнитивных нагрузок усугубляются воздействием специфических эколого-климатических условий Европейского Севера. Здесь дезадаптирующими факторами служат гипоксия и экстремальный температурный режим. Вследствие их совокупного действия повышается напряжение работы сердца, увеличивается сосудистое сопротивление в тканях мозга, что может привести к гипертензии.

Целью исследования явилось определение реакций мозгового кровообращения студентов на предъявляемые когнитивные задачи разного уровня сложности.

Материалы и методы исследования

В исследовании принимали участие 20 студентов-юношей Северного (арктического) федерального университета в возрасте от 18 до 22 лет (средний возраст группы составил $20,0 \pm 0,37$ года). Участники обследования не имели хронических заболеваний кардиореспираторной системы, на момент исследования были соматически здоровы. Обследование проводилось с соблюдением этических принципов Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (World Medical Association, WMA), от всех участников исследования было получено письменное согласие. Эксперимент предусматривал регистрацию показателей мозгового кровообращения в полувертикальном положении тела в следующих состояниях: 1) состоянии спокойного бодрствования, 2) когнитивная проба № 1 (в тексте: счет без усложнения, простая когнитивная проба, простой счет), 3) когнитивная проба № 2 (в тексте: счет с усложнением, сложная когнитивная проба). После каждой

когнитивной задачи испытуемым предоставлялся отдых в течение 2 мин. В качестве когнитивной пробы № 1 испытуемым предлагалось решить ряд несложных математических примеров на различные действия, когнитивная проба № 2 заключалась в выполнении 2 последовательных математических операций с предъявляемым числом. Реоэнцефалограммы фиксировались непрерывно в течение 2 мин проведения физиологических проб, анализ реограмм осуществлялся по четырем реоволнам в конце временного промежутка. РЭГ регистрировалась на АПК «Рео-Спектр-2» («Нейрософт») по тетраполярной схеме наложения электродов. Коррекция автоматической установки реперных точек осуществлялась визуально по согласованию с ЭКГ-сигналом и дифференциальной реограммой. В нашем исследовании применялась общеизвестная схема двух отведений от следующих областей: фронтально-мастоидальная область (FM) – отражает изменения гемодинамики в бассейне левой и правой внутренних сонных артерий; окципито-мастоидальная область (OM) – отражает кровоток в бассейне базиллярных сосудов. Полученные реограммы подвергались визуальному и количественному анализу [6]. Анализировались показатели артериального кровотока, тонуса и эластичности артерий, показатели гемодинамики в венозном русле. Статистическая обработка количественных показателей реограмм проводилась с помощью программной среды IBM Statistics SPSS версии 22.0. Ввиду отсутствия нормальности распределения использовали непараметрические методы анализа, результаты представлены в виде медиан и квартильных коридоров. Значимость отличий параметров реограмм между полушариями в одинаковых отведениях устанавливались с помощью критерия Mann–Whitney. Достоверность физиологических сдвигов после проведения физиологических проб выявлялась с использованием критериев Fridman, Wilcoxon.

Результаты исследования и их обсуждение

Количественные характеристики мозговой гемодинамики (пульсовое кровенаполнение, периферическое сосудистое сопротивление и состояние венозного оттока) в состоянии спокойного бодрствования у всех обследованных нами студентов находились в пределах физиологических норм. Отмечается снижение тонуса в магистральных артериях в бассейне левой вертебральной артерии на 3% по сравнению с нормативными значениями, при этом то-

нус сосудистых стенок в остальных бассейнах головного мозга находится в пределах нормы. Также признаки сниженного тонуса наблюдаются в крупных артериях во всех исследованных бассейнах в обоих полушариях: на 10% тонус снижен в бассейне внутренних сонных артерий и на 17% – в бассейне позвоночных артерий. Гипотонусом также характеризуются средние и мелкие артерии бассейна позвоночных артерий (медиана на 17,5% выше физиологических норм). Индивидуальные значения параметров мозгового кровотока демонстрируют, что у большинства испытуемых пульсовое кровенаполнение артериальной сети не соответствует физиологической норме. Более чем у 80% испытуемых отмечается сниженный тонус крупных, а также средних и мелких артерий всех исследуемых бассейнов обоих полушарий. Периферическое сосудистое сопротивление соответствует физиологическим нормам у 80% студентов. Признаки затрудненного венозного оттока отмечаются у 50% респондентов.

Количественные характеристики реограмм не обнаруживают различий между одинаковыми бассейнами обоих полушарий, а также между бассейнами общих сонных и базилярных артерий внутри каждого полушария в отдельности. Данные результаты свидетельствуют о наличии хорошо развитого, симметричного церебрального кровотока у студентов исследуемой выборки.

Таким образом, анализ параметров мозгового кровообращения у студентов в состоянии относительного покоя позволил установить признаки гипотонуса сосудов среднего и мелкого калибра, т.е. сосудов распределения, играющих ключевую роль в распределении крови между функционально активными областями головного мозга. Сниженный тонус может приводить к потере эластичности сосудистой стенки, ее перерастяжению поступающей кровью и повышению артериального давления. В исследованиях различных авторов продемонстрировано, что рано диагностированная артериальная гипертензия в виде вегетососудистой дистонии переходит в устойчивую гипертензию в зрелом возрасте без яркой симптоматики в связи с пограничными значениями артериального давления [7, 8]. Таким образом, необходимо уделять более пристальное внимание состоянию сердечно-сосудистой системы у студентов с признаками вегетативной дисфункции и гипотонусом сосудов разного калибра для предупреждения развития гипертонической болезни.

Исследования ряда авторов показали влияние незначительных изменений психоэмоционального статуса на обменные процессы в нейронах коры больших полушарий и, следовательно, на параметры кровотока в локальных активных областях мозга [9, 10]. Проведение различных видов сенсорной стимуляции демонстрирует синхронность изменений локальной мозговой гемодинамики совместно с изменениями биоэлектрической активности функционально активных областей мозга.

Анализ параметров мозгового кровообращения при решении простой математической задачи позволил установить у испытуемых минимальные изменения гемодинамики. Медиана ЧСС в процессе выполнения данного варианта пробы увеличилась на 5% по сравнению с фоном ($p = 0,783$). **Выполнение простой когнитивной задачи не вызвало значимого изменения параметров кровотока в магистральных сосудах исследуемых бассейнов обоих полушарий мозга.** Однако установлена тенденция к повышению тонуса сосудов крупного, а также среднего и мелкого калибров. Наиболее выраженное повышение тонуса в указанных сосудах артериальной сети наблюдалось в бассейне левой вертебральной артерии. Анализ изменения периферического сосудистого сопротивления демонстрирует значимый прирост его величины в бассейне вертебральных артерий обоих полушарий на 34,4–39,2% (Oms и Omd соответственно). **При этом в бассейне внутренних сонных артерий периферическое сосудистое сопротивление остается без изменений по сравнению с исходными (фоновыми) значениями.** Величина сосудистого сопротивления выходит за границы физиологической нормы. Решение математической задачи отражается на динамике венозного оттока. Наблюдается тенденция выраженного усиления оттока по венозному руслу из всех исследуемых бассейнов, в особенности из вертебро-базилярного (147,6–193,3%). Значения медиан ПВО выше физиологических норм в бассейне правой позвоночной артерии на 10%, левой – на 30%.

Анализ различий в параметрах мозгового кровотока в симметричных отведениях разных полушарий и в различных отведениях одного полушария обнаружил значимые расхождения в величине коэффициента асимметрии реографического индекса, отражающего разницу кровенаполнения внутри исследуемого органа. В частности, установлена незначительная асимметрия кровенаполнения в бассейнах левой и правой позвоночных артерий, с фокусом

в правую ветвь ($p = 0,002$). Также выявлены различия в величине объемного кровотока в различных артериальных бассейнах левого полушария: в частности, объемная величина кровотока в области левой общей сонной артерии на 68,9% выше, чем в вертебро-базилярном бассейне ($p = 0,032$). Это, по-видимому, может быть связано с функциональной активностью левой фронтальной коры.

Выполнение когнитивной пробы с усложнением сопровождается статистически значимым снижением величины пульсового кровенаполнения в артериальной сети всех исследованных бассейнов обоих полушарий.

Несколько более выраженное снижение наблюдается в левом полушарии. Суммарно объем пульсового кровенаполнения снижается в бассейне внутренней сонной артерии на 15,8–17,4%, в вертебро-базилярном бассейне – на 10,2–18,0% по сравнению с фоном. Данные значения находятся ниже физиологических норм для бассейна общих сонных артерий и левой базилярной артерии. Эластикотонические свойства сосудов разного калибра при выполнении когнитивной пробы проявляются в повышении тонуса средних артерий и артериол в системе левой внутренней сонной артерии (повышение на 17,2% по сравнению с фоном, $p = 0,041$). Статистически значимых изменений периферических сосудов установлено не было, однако выявлена тенденция усиления сосудистого сопротивления во всех исследуемых бассейнах. Показатели венозного оттока превышают физиологическую норму в бассейнах правого полушария, при этом венозный отток из общей сонной артерии вырос на 212% по сравнению с фоном ($p = 0,049$). Данные изменения носят дезадаптивный характер, так как сочетание вазоконстрикции с повышенным тонусом сосудов распределения снижает эффективность кровотока, а соответственно и успешность когнитивной деятельности, что может быть связано с малоподвижным сидячим образом жизни современных студентов.

Различий в величине параметров мозгового кровотока в симметричных отведениях обоих полушарий и между разными отведениями в пределах одного полушария при выполнении сложной математической задачи установлено не было.

Сравнение реографических показателей при выполнении когнитивных задач разной сложности позволило установить, что сложная умственная работа сопровождается более выраженным снижением параметров пульсового кровенаполнения,

эластических свойств сосудов и венозного оттока, причем данные изменения более заметны в бассейне внутренней сонной артерии. Усложнение когнитивной задачи неодинаково отражается на состоянии артериальных сосудов разного калибра. Так, установлено, что сложная когнитивная задача повышает тонус как крупных артерий, так и артерий среднего калибра и артериол в системе левой внутренней сонной артерии (на 20% и 11% соответственно; $p = 0,023$; $0,010$). При этом в правом полушарии повышается тонус исключительно крупных артерий (на 8,5% по сравнению с результатом в простой когнитивной пробе, $p = 0,013$). Различий в величинах периферического сосудистого сопротивления в когнитивных задачах разного уровня сложности не наблюдалось.

Заключение

Анализ результатов исследования демонстрирует некоторые специфические особенности влияния деятельности, связанной с решением когнитивных задач различного уровня сложности, на состояние мозговой гемодинамики в различных бассейнах артериовенозной сети головного мозга. При этом общей чертой воздействия на мозговую гемодинамику всех видов предъявляемых когнитивных задач является повышение активности объемного кровотока во фронто-мастоидальных отведениях (внутренние сонные артерии) по сравнению с окципито-мастоидальным отведением (базилярные артерии). Простая когнитивная задача активирует кровоток в задних отделах мозга, при этом повышаются тонус сосудов распределения, периферическое сосудистое сопротивление и венозный отток. Сложная когнитивная задача вызывает неблагоприятные сдвиги в церебральной гемодинамике. В частности, снижается пульсовое кровенаполнение, особенно в бассейне левой общей сонной артерии, при этом повышается тонус сосудов распределения в данном регионе, усиливается венозный отток.

Список литературы

1. Навроцкий В.К. Гигиена труда. М., 1974. 440 с.
2. Alvaro B., Tang R., Zhu C. The effect of mental stress on heart rate variability. NJ Governor's School of Engineering & Technology. 2011. 12 p.
3. Надежкина Е.Ю., Новикова Е.И., Мужиченко М.В., Филимонова О.С. Влияние экзаменационного стресса на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и уровень тревожности у студентов с различными типами высшей нервной деятельности // Вестник ВолГМУ. 2017. №2 (62). С. 115–118.
4. Алексеева Э.А., Шантанова Л.Н., Петунова А.Н., Иванова И.К. Оценка функционального состояния организ-

ма студентов в период экзаменационного стресса // Вестник Бурятского гос. ун-та. 2010. № 12. С. 108–113.

5. Апокин В.В., Семёнова А.А., Нифонтова О.Л. Состояние сердечно-сосудистой системы студентов. Теория и практика физической культуры. 2014. № 9. С. 95–97.

6. Комплекс реографический «Рео-спектр». Методические указания. Иваново: ООО «Нейрософт», 2010. 143 с.

7. Дубинин К.Н., Хлопина И.А., Плакуев А.Н., Суханова Н.С. Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний у студентов медиков // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 8–3 (39). С. 94–101.

8. Юшманова Л.С., Совершаева С.Л. Кровоснабжение мозга в бассейне сонных артерий у нормо- и гипотензивных

лиц юношеского возраста // Фундаментальные исследования. 2014. № 10–1. С. 189–192.

9. Капильевич Л.В., Ежова Г.С., Захарова А.Н., Кабачкова А.В., Кривошеков С.Г. Биоэлектрическая активность головного мозга и церебральная гемодинамика у спортсменов при сочетании когнитивной и физической нагрузки // Физиология человека. 2019. Т. 45. №2. С. 58–69.

10. Мельник С.Н., Мельник В.А., Сукач Е.С., Ткаченко П.В. Влияние физической и умственной нагрузки на состояние центральной и мозговой гемодинамики молодых людей в зависимости от типа кровообращения и церебральной микроциркуляции // Человек и его здоровье. 2016. №1. С. 117–123.