

Биолог. журн. Армении, 1-2 (59), 2007

УДК 612.812

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ОСНОВНЫХ РИТМОВ ЭЭГ АБИТУРНЕНТОВ В ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

А.В. ДАЯН, Э.С. ГЕВОРКЯН, С.М. МИНАСЯН, Н.Н. КСАДЖИКЯН

Ереванский государственный университет, кафедра физиологии человека и животных, 0025

Методом компьютерной регистрации и анализа исследована спектральная плотность мощности (СПМ) ритмов ЭЭГ (Δ , θ , α , β) фронтальных, теменных и затылочных областей левого и правого полушария головного мозга (F_3 , F_4 , P_3 , P_4 , O_3 , O_4). Показано, что в F_3 и F_4 как в пред-, так и в постэкзаменационный периоды происходит достоверное увеличение СПМ α - и β -ритмов. В P_3 и P_4 в предэкзаменационный период наиболее выраженные сдвиги происходили в величине СПМ β -ритма, наименее Δ -волн левого полушария. В O_3 наблюдалось повышение мощностей Δ -, α - и β -ритмов, а в O_4 – как в пред-, так и в постэкзаменационный периоды происходила редукция СПМ всех исследованных ритмов.

Համակարգչային գրանցման և վերլուծության եղանակով ուսումնասիրվել է գլխուղեղի աջ և ձախ կիսագնդերի ճակատային, զագարային և ծոծրակային շրջանների (F_3 , F_4 , P_3 , P_4 , O_3 , O_4) էնեֆ-ի ռիթմերի (Δ , θ , α , β) հզորության սպեկտրալ խտությունը (ՅՍՄ)։ Ցույց է տրված, որ F_3 և F_4 -ում, նախաքննական և հետքննական շրջաններում տեղի է ունենում α և β ռիթմերի ՅՍՄ-ի հավաստի աճ։ P_3 և P_4 – ում նախաքննական շրջանում առավել արտահայտված տեղաշարժեր տեղի են ունեցել ձախ կիսագնդի β ռիթմի և ալֆայի քիչ Δ ալիքի ՅՍՄ-ի մեծություններում։ O_3 – ում դիտվել է Δ , α և β ռիթմերի հզորության բարձրացում, իսկ O_4 – ում, ինչպես նախա, այնպես էլ հետքննական շրջաններում տեղի է ունեցել ուսումնասիրված բոլոր ռիթմերի ՅՍՄ-ի նվազում։

The power's spectral density (PSD) of EEG general rhythms (Δ , θ , α , β) in frontal, parietal and occipital areas (F_3 , F_4 , P_3 , P_4 , O_3 , O_4) of brain left and right hemispheres was investigated. Analysis of received data showed that in F_3 and F_4 both in pre- and postexamination periods it was observed reliable enhance of α - and β -rhythms of PSD. In P_3 and P_4 it was revealed the increase of PSD of investigated rhythms. More expressed shifts were noted in PSD of β -rhythm value, the least changes – in PSD of Δ -waves of left hemisphere. It was shown the increase of powers of Δ -, α -, β -rhythms of left hemisphere's occipital area, however, in right hemisphere both at pre- and postexamination periods – reduction of PSD of all studied rhythms.

*Экзаменационный стресс – электроэнцефалограмма – спектральная
плотность мощности – фокус максимальной активности*

Переход от общеобразовательного обучения к учебным заведениям нового типа повышает интенсивность умственных нагрузок, вызывает сдвиги в функционировании ЦНС подростков, приводя к напряжению ее регуляторных механизмов. Между тем функциональные возможности ЦНС на данном этапе индивидуального развития ограничены недостаточной

зрелостью гетерохронно созревающих структур головного мозга [3, 4, 6]. Большинство старшеклассников профильное обучение сочетают с занятиями на подготовительных курсах в вузах. Чрезмерная нагрузка и малоэффективный отдых провоцируют напряжение регуляторных систем, приводящее к целому ряду сложных изменений, обуславливающих снижение адаптивных возможностей организма, что расценивается как нарушение корково-подкорковых взаимоотношений [1, 2, 5-9].

Исследование функционального состояния мозга при различных ситуациях и видах деятельности в последние годы осуществляется методом спектрального анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ).

Материал и методика. Для оценки динамических изменений активности коры головного мозга абитуриентов в условиях экзаменационного психоэмоционального напряжения исследовали спектральную плотность мощности (СПМ) четырех основных ритмов ЭЭГ (Δ , θ , α , β) во фронтальной, теменной и затылочной областях левого и правого полушарий коры головного мозга (F_p , F_z , P_p , P_z , O_p , O_z). Регистрацию и анализ ЭЭГ осуществляли в 3-х экспериментальных ситуациях: в относительно спокойный день учебного семестра (фон), за 1 день до экзамена, на следующий день после экзамена. В процессе эксперимента испытуемые (26 абитуриентов в возрасте 16-17 лет, сдающие вступительные экзамены по физике, химии и биологии) находились в полутемненной экранированной камере в кресле, в положении сидя. Регистрацию ЭЭГ осуществляли на 8-канальном электроэнцефалографе фирмы "Альвар" (Франция) с помощью хлор-серебряных электродов диаметром 7-8 мм, неподвижно закрепленных на специальном шлеме (с ушными референтными электродами), в соответствии с международной схемой 10-20 во фронтальных (F_p , F_z), теменных (P_p , P_z) и затылочных (O_p , O_z) областях коры левого и правого полушарий. Сигналы усиливали с верхней частотой фильтров 30 Гц и постоянной времени 0.3с и затем подавали на IBM-486. Запись ЭЭГ осуществлялась на жесткий диск компьютера монополярно. Частота дискретизации аналоговых сигналов при вводе в компьютер составляла 200 Гц по каждому из каналов. Математическую обработку показателей СПМ осуществляли по разработанному пакету программ, на основу которого положены общие принципы спектрального анализа и алгоритмы обработки ЭЭГ. Для каждого испытуемого во всех отведениях методом быстрого преобразования Фурье вычисляли СПМ основных ритмов. Спектрограммы усреднялись по 5-ти последовательным безартефактным 10-секундным реализациям каждой анализируемой выборки ЭЭГ в диапазонах Δ - (0.5-4.0 Гц), θ - (4.0-8.0 Гц), α - (8.0-12.0 Гц) и β - (12.0-30.0 Гц) волн. По соотношению мощностей β - и α -ритмов в исследованных областях вычисляли коэффициент активации (КА) коры [11]. По СПМ для θ - и β -ритмов определяли также локализацию фокуса максимальной активности (ФМА). Полученные данные статистически обработаны на IBM-486, с учетом критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Анализ полученных данных показал, что в фоновом спектре ЭЭГ абитуриентов мощность высокочастотных ритмов (α , β) доминировала над низкочастотными (Δ , θ). Регистрируемые ритмы имели правильную форму. Пик СПМ для Δ -ритма в фоне наблюдался в диапазоне 0.73-0.83 Гц; 4.07-5.30 Гц для θ -ритма; 9.30-10.10 Гц - для α - и 15.20-16.90 Гц - для β -волн. Последнее свидетельствует о преобладании относительно низкочастотных компонентов в спектре каждого из исследованных ритмов ЭЭГ.

Анализ СПМ Δ -ритма в области F_p показал, что мощность Δ -ритма в предэкзаменационный период достоверно увеличивалась по сравнению с фоновыми данными на 71.0%, достигая величины 1.95 ± 0.27 мкВ²/Гц ($p < 0.01$). В постэкзаменационный период наблюдалось уменьшение ее до фонового

значения (рис. 1). СПМ θ -ритма как в пред-, так и в постэкзаменационный периоды достоверным изменениям не подвергалась. Анализ СПМ волн α - и β -диапазона выявил достоверное повышение их уровней как в пред-, так и в постэкзаменационный периоды. Об этом свидетельствует и наблюдаемое повышение КА области F_7 до уровня 2.20 ± 0.36 , при $KA = 1.82 \pm 0.12$ в фоне. Как видно из рис. 1, в предэкзаменационный период СПМ высокочастотных α - и β -ритмов повышалась по сравнению с фоном на 26.4% ($p < 0.001$) и 29.1% ($p < 0.001$) соответственно. В постэкзаменационный период она несколько уменьшалась, достигая уровня 11.8 ± 0.66 мкВ²/Гц ($p < 0.001$) и 19.0 ± 0.09 мкВ²/Гц ($p < 0.02$) соответственно.

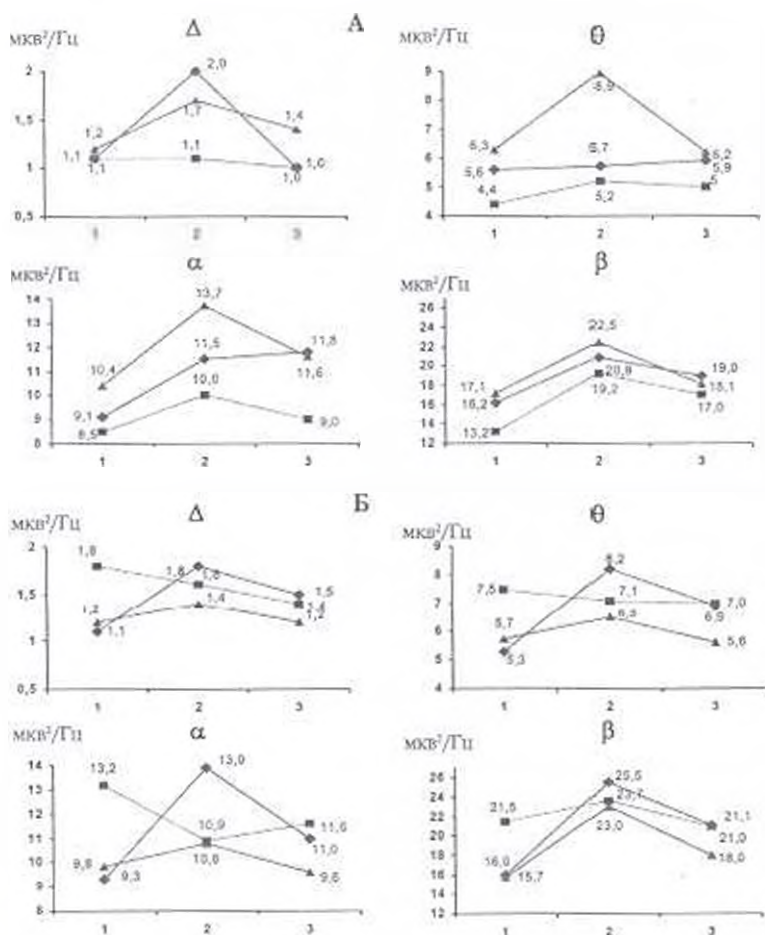


Рис. 1. Динамика изменения спектральной плотности мощности Δ -, θ -, α -, β -ритмов электроэнцефалограммы левого (А) и правого (Б) полушарий абитуриентов: 1 - фон, 2 - до экзамена, 3 - после экзамена

- ◆ фронтальная область коры
- темпальная область коры
- ▲ затылочная область коры

Анализ СПМ исследованных ритмов в области F_7 выявил достоверное повышение СПМ Δ -ритма в ситуации предэкзаменационного напряжения

на 57.1% ($p < 0.001$), по сравнению с показателем в фоновом. В постэкзаменационный период мощность Δ -ритма достоверно понижалась, однако стабилизировалась на повышенном по сравнению с фоном уровне (рис. 1). Анализ динамики СПМ α - и β -ритмов и низкочастотного θ -ритма в предэкзаменационный период выявил их достоверное повышение. Спектральная мощность θ -ритма возрастала на 54.7% ($p < 0.001$), α - 49.5% ($p < 0.001$), β - 59.4% ($p < 0.001$). В постэкзаменационный период наблюдалась достоверная редукция СПМ всех исследованных ритмов, которые, однако, оставались выше исходного уровня (рис. 1).

Анализ СПМ α -, β -, Δ -, θ -ритмов в областях P_1 и P_2 показал повышение в предэкзаменационный период активности всех исследованных ритмов. СПМ Δ -ритма в P_2 в предэкзаменационный период повышалась на 33.8% ($p < 0.001$) по сравнению с показателем в фоновом. В постэкзаменационный период наблюдалась тенденция к понижению его мощности. В изменении показателей СПМ θ -, α - и β -ритмов в предэкзаменационный период прослеживалась та же динамика (рис. 1). СПМ θ -волн повышалась на 40.6% ($p < 0.001$). Мощность высокочастотных α - и β -волн возрастала соответственно на 31.7% ($p < 0.001$) и 31.6% ($p < 0.01$). В постэкзаменационный период спектральная мощность ритмов θ -, α -, β -диапазонов снижалась до фонового уровня. Анализ СПМ исследованных ритмов в области P_1 в предэкзаменационный период выявил достоверное повышение СПМ Δ -ритма ($p < 0.05$). В постэкзаменационный период она снижалась до более низкого, по сравнению с фоновым, уровня (рис. 1). Аналогичная динамика прослеживалась и в показателях СПМ θ - и α -ритмов. Достоверное повышение их мощности в ситуации экзаменационного напряжения соответственно на 14.0% ($p < 0.05$) и 10.2% ($p < 0.02$) в постэкзаменационный период сменялось понижением их значений до уровней в фоновом. СПМ β -ритма, достоверно повышающаяся в предэкзаменационный период на 46.5% ($p < 0.001$), после экзамена несколько редуцировалась, не доходя однако до исходного уровня. Пик СПМ в предэкзаменационный период для Δ -ритма приходился на уровень 0.70-0.71 Гц; для θ - 5.2-5.8 Гц; для α - 9.8-10.2 Гц; для β -ритма - 16.7-19.6 Гц. Коэффициент активации области P_2 при экзаменационном психоэмоциональном напряжении составлял 1.87 ± 0.17 .

Таким образом, анализ динамики СПМ ритмов ЭЭГ в областях P_1 и P_2 в предэкзаменационный период выявил наиболее выраженные сдвиги в величине СПМ β -ритма, наименее - Δ -волн. Аналогичная картина была характерна и для правого полушария. Наблюдаемые изменения свидетельствуют о повышении активности теменных областей коры в процессе предэкзаменационного психоэмоционального напряжения. Повышение активности теменных областей коры, как свидетельствует смещение пиков СПМ, происходило за счет повышения вольтажа как высокочастотных волн α - и β -диапазона, так и низкочастотных θ - и Δ -ритмов.

В областях O_1 и O_2 мощность Δ -ритма в пред- и постэкзаменационный периоды колебалась в пределах нормы, однако в O_1 она была несколько выше (1.8 ± 0.75 мкВ²/Гц), чем в O_2 (1.1 ± 0.08 мкВ²/Гц). Мощность θ -ритма в

области O_1 в предэкзаменационный период увеличивалась на 19.6% ($p < 0.02$), что сохранялось и в постэкзаменационный период (рис. 1). В области O_2 , как в пред-, так и в постэкзаменационный периоды наблюдалось некоторое снижение СПМ θ -ритма. СПМ α -ритма в O_1 в предэкзаменационный период повышалась ($p < 0.001$), однако в постэкзаменационной ситуации наблюдалась тенденция к ее снижению. В правом полушарии динамика изменения СПМ α -ритма была несколько иной. В предэкзаменационный период СПМ α -ритма в O_2 снижалась на 17.2% ($p < 0.02$), а после экзамена прослеживалась тенденция к восстановлению его мощности до фонового уровня, что обусловлено дезорганизацией активности коры и замедлением ее ритмов вследствие утомления и перенапряжения. В затылочных областях коры наиболее динамичным оказался β -ритм, СПМ которого в предэкзаменационный период в области O_1 повышалась на 45.5% ($p < 0.001$), а в O_2 - на 10.2%. В постэкзаменационной ситуации мощность β -ритма в области O_1 достоверно понижалась ($p < 0.05$). Изменения β -ритма в O_2 как в пред-, так и в постэкзаменационный периоды происходили на уровне тенденции. Максимум СПМ по исследованным ритмам в постэкзаменационный период приходился на частоту 0.70-0.73 Гц для Δ ; 4.75-5.10 Гц для θ -; 8.9-10.6 Гц для α - и 15.1-17.2 Гц для β -волн.

Таким образом, анализ динамики изменений СПМ всех исследованных ритмов в затылочных областях обоих полушарий показал достоверное повышение мощностей Δ -, α - и β - ритмов в левом полушарии, наиболее выраженное в диапазоне β -ритма. В отличие от левого, в затылочной области правого полушария как в пред-, так и в постэкзаменационный периоды наблюдалась редукция СПМ всех исследованных ритмов.

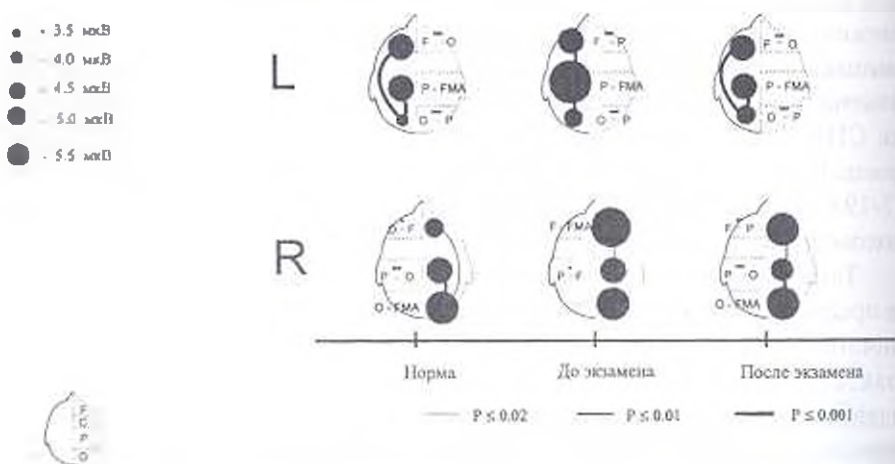


Рис. 2. Локализация ФМА β -ритма в исследуемых областях левого (L) и правого (R) полушарий у испытуемых абитуриентов в норме, до и после экзамена.

Анализ корковой интеграции левого полушария абитуриентов в фоне выявил фронто-теменную локализацию ФМА β -ритма. В пред- и постэкзаменационный периоды наблюдалась активация всех исследованных

областей. Выраженный ФМА по β -ритму отсутствовал. В правом полушарии локализация ФМА β -ритма наблюдалась в затылочной области. В предэкзаменационный период возбуждалось все правое полушарие - происходила синхронная активация всех областей без доминантного очага возбуждения. В постэкзаменационный период наблюдалось достоверное фронтально-затылочное смещение очага локализации ФМА β -активности ($p < 0.02$) (рис. 2). В левом полушарии абитуриентов в фоне наблюдалась сопряженная фронтально-теменная локализация ФМА θ -ритма ($p < 0.001$), в предэкзаменационный период - теменное доминирование θ -ритма ($p < 0.001$). В постэкзаменационный период вновь происходило фронтально-теменное смещение ФМА θ -ритма. В правом полушарии в фоне ФМА θ -ритма был локализован в затылочной области ($p < 0.001$). В предэкзаменационный период наблюдалось смещение ФМА θ -ритма во фронтальную область, а в постэкзаменационный - фронтально-затылочный сдвиг ФМА ($p < 0.01$) (рис. 3).

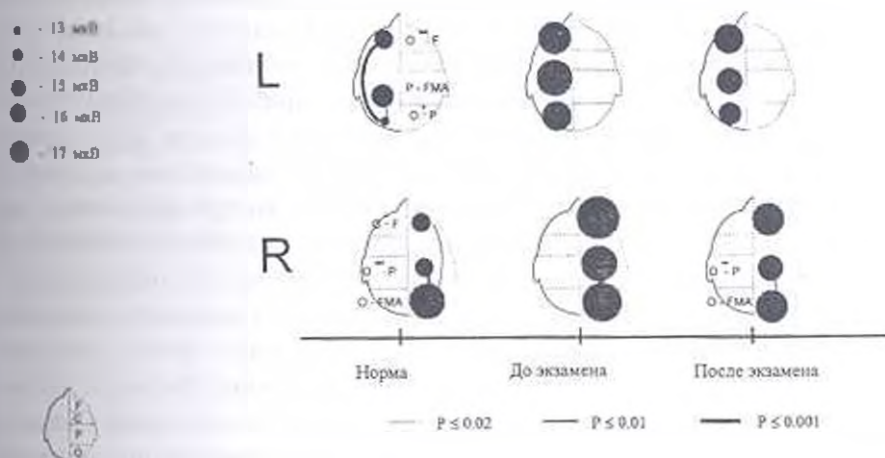


Рис. 3. Локализация ФМА β -ритма в исследуемых областях левого (L) и правого (R) полушарий у испытуемых абитуриентов в норме, до и после экзамена

Таким образом, в процесс активации коры по β - и θ -ритмам в предэкзаменационный период у абитуриентов задействованы все исследованные области правого и теменная область левого полушарий.

Анализ полученных данных показал, что в состоянии спокойного бодрствования (фон) у абитуриентов во всех изученных областях коры наблюдается десинхронизация корковой активности, выражающаяся в относительно низком (по сравнению с условной для данной возрастной категории лиц нормой) уровне СПМ α -ритма. В фоновом спектре ЭЭГ испытуемых присутствовали все частотные составляющие. При этом во всех исследованных областях СПМ высокочастотных волн (α , β) превышала низкочастотные (θ , Δ). В ситуации предэкзаменационного напряжения у абитуриентов наблюдалась активация коры, обусловленная достоверным повышением СПМ θ -, α - и β -волн фронтальной области правого, а также

теменных областей правого и левого полушарий. Согласно теоретическим данным, активация F_1 , P_2 , P_4 областей коры в результате увеличения СПМ θ -, α - и β -ритмов свидетельствует как о развитии напряжения, связанного с эмоциональным состоянием, так и адекватном рабочем напряжении. Ряд авторов считает, что наблюдаемые сдвиги обусловлены саморегулирующимися механизмами поддержания должной мобилизационной готовности [14]. Изменения, наблюдаемые в области O_1 , были аналогичны вышеизложенным. Однако в O_1 колебания происходили на уровне тенденции. Бóльшее вовлечение в процесс активации правополушарных областей мозга объясняется, согласно Костанцову [10], функциональной дифференциацией полушарий. Левое полушарие специализируется в аналитических процессах, а правое - вовлечено в обработку информации и реализацию эмоционально-стрессовых состояний. Кортикальная регуляция эмоциональных состояний в норме осуществляется при взаимодействии двух полушарий, каждое из которых обладает собственным эмоциональным "видением" мира и вносит свой вклад в целостную функцию мозга [10]. Изменения, наблюдаемые в условиях экзаменационного стресса в левом полушарии, обусловлены влиянием ретикулярной формации, а в правом - лимбических структур мозга [12]. Преимущественная активация фронтальной области коры правого полушария, наблюдаемая у абитуриентов, является адекватным параметром эмоционального напряжения. Повышение СПМ одновременно как α -, так и β -волн может быть обусловлено также переработкой в памяти эмоционально значимых событий [13]. Согласно теории Симонова [14], наблюдаемое в предэкзаменационный период повышение плотности мощности медленных частот (особенно в диапазоне θ -ритма), по сравнению с фоном, указывает на развитие эмоционального напряжения и утомления. Имеющая место у некоторых испытуемых экзальтация θ -ритма как показателя эмоционального напряжения наблюдалась и Соколовой [15]. Однако известно, что мощность θ -ритма повышается не только при отрицательных эмоциях, связанных с экзаменом, но и в ситуациях, требующих энергетической и информационной мобилизации. Наблюдаемое нами повышение СПМ θ -ритма в целом согласуется с данными авторов, рассматривающих увеличение мощности θ -ритма, особенно в областях F_1 , P_2 , как коррелят отрицательных эмоций и стресс-ритм [4, 14]. В предэкзаменационный период повышение СПМ высокоамплитудных θ - и Δ -волн ЭЭГ максимально проявляется во фронтальной области правого полушария. Учитывая связь этого полушария с отрицательными эмоциями, наблюдаемые изменения могут быть интерпретированы как проявление отрицательного эмоционального состояния, обусловленного экзаменационной ситуацией. Эти сдвиги в сторону замедления доминирующего ритма, появляющиеся на фоне частых ритмов, характерны для развивающегося утомления и их можно трактовать как результат чрезмерного повышения общего активирующего потока, приводящего к снижению функционального состояния нервных центров коры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаджанян Н.А., Руженкова И.В., Старшинов Ю.П. и др. Физиол. чел., 23, 1, 93-97, 1997
2. Авфеева В.В., Кудрякова Т.А. Возрастные особенности физиологических систем детей и подростков. М. 1990.
3. Ананьева Н.А., Ямпольская Ю.А. Школа здоровья, 1, 1, 13-18, 1994.
4. Антропова М.В., Кузнецова Л.М., Бородкина Г.В. Физиол. чел., 17, 5, 116-124, 1991.
5. Бажанова Л.М., Гаврилова И.Н., Бурдина Л.Б. Усп. физиол. наук., 25, 1, 47-51, 1994.
6. Безгодов В.Н., Тубайдулина Т.Х., Калиберный В.В. Гиг. и сан., 5, 20-22, 1996.
7. Веденеева Л.С., Сороко С.И., Шеновальников А.Н. Физиол. чел., 24, 1, 5-15, 1998.
8. Горбачевская Н.Л., Кожушка Л.Ф. Невропатология и психиатрия. 9, 8, 75-79, 1990.
9. Данилова Н.Н., Астафьев С.Г. Журн. высш. нервн. деят., 49, 1, 28-35, 1999.
10. Костандов Э.А. Журн. высш. нервн. деят., 40, 4, 611-619, 1990.
11. Павлова Л.П., Романенко А.Ф. Системный подход к психофизиологическому исследованию мозга человека. Л.: Наука, 1988.
12. Разумникова О.М. Физиол. чел., 27, 4, 31-41, 2001.
13. Русалова М.Н. Физиол. чел., 6, 3, 410-419, 1980.
14. Симонов П.В. Мотивированный мозг. М.: Наука. 1987.
15. Соколова Л.В. Физиол. чел., 17, 5, 125-129, 1991.

Поступила 31.1.2007