

11. *Creutzfeldt O.* The neuronal generation of EEG // Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology. Elsevier publ. Amsterdam., 1974. 157 p.

12. *Schurmann M., Basar E.* Alpha oscillation shed new light on relation between EEG and single neurons // Neuroscience Research. 1999. Vol. 33. P. 79–80.

НИИ Валеологии ЮФУ

Статья поступила в редакцию 30.08.10

УДК 612.821+612.822.3

**Е.К. АЙДАРКИН, А.С. БОГУН,  
Д.Н. ЩЕРБИНА**

ОТРАЖЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ  
АРИФМЕТИЧЕСКОГО НАВЫКА  
В ДИНАМИКЕ УРОВНЯ КОГНИТИВНОГО  
НАПРЯЖЕНИЯ И ЭЭГ В УСЛОВИЯХ  
ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ  
ДВУХ ЗАДАЧ

### Реферат

*В работе анализировалось качество деятельности и динамика уровня когнитивного напряжения (КН) у испытуемых с разной эффективностью решения арифметических примеров на умножение двузначных чисел, происходящем одновременно с выполнением ПАМР. Показано, что снижение качества решения сопровождается резким увеличением времени нахождения испытуемого в состоянии с высоким уровнем КН, достигающим максимума через 25 минут после начала тестирования, что расценивается как период вратывания для сложной интеллектуальной деятельности. В группе с высоким качеством деятельности преобладания одного из уровней КН не наблюдается. В зависимости от соотношения уровней КН проведено разделение испытуемых обеих групп на подгруппы, для каждой из которых предполагается разный стиль интеллектуальной деятельности и успешность распределения когнитивных ресурсов для одновременного выполнения двух задач.*

*В ЭЭГ реализация вычислений в уме обеспечивалась высоким уровнем дельта и тета-активности в лобных зонах коры, усиливавшихся с ростом КН и распространявшихся из передних областей в центральные и теменные, что, вероятно, отражало*

*усиление уровня интеллектуального напряжения и конкуренцию за ресурсы произвольного внимания в условиях двух неравнозначных видов деятельности.*

**Ключевые слова:** время реакции, умножение, качество решения, когнитивное напряжение, ЭЭГ.

В предыдущей работе [1] была разработана и апробирована методика контроля эффективности мыслительной деятельности в процессе автоматизированного тестирования знаний. Оценка изменения времени реакции (ВР) позволила выдвинуть предположение о чередовании в ходе решения арифметических примеров различных состояний: от качественного выполнения простой аудиомоторной реакции (ПАМР) до полного сосредоточения на умножении, при котором выполнение ПАМР прекращается. Для реализации каждой из этих конкурирующих моделей деятельности необходима соответствующая локальная активация заинтересованных областей мозга. Поскольку одна из деятельностей достаточно сложная и, следовательно, требовательная к когнитивным ресурсам [1], то конкуренция между деятельностями проявляется, скорее всего, на стадии распределения ограниченного объема общей активации. В вышеупомянутой работе показано, что, оценивая эффективность более простой деятельности, можно выделить этапы с более высокой и более низкой нагрузкой при выполнении сложной деятельности. Вероятно, повышение эффективности простой деятельности происходит за счет утилизации той части общей активации мозга, которая высвобождается при снижении нагрузки при выполнении более сложной деятельности.

Уже предпринимались попытки разобраться в механизме совмещенной деятельности человека-оператора [6, 7, 33, 34]. Поскольку параллельное выполнение двух задач приводит к конкуренции за когнитивные ресурсы, то регулярная оценка эффективности выполнения простой дополнительной задачи может служить обратным маркером эффективности основной деятельности [1].

Целью исследования было изучение отражения уровня сложного интеллектуального навыка в динамике когнитивного напряжения (КН) и общей активации мозга в условиях выполнения двух видов деятельности разного содержания.

## Методика

Исследование проводилось с участием 22 студентов и сотрудников биолого-почвенного факультета Южного федерального университета (17 женщин, 5 мужчин, средний возраст  $24 \pm 1,8$  года), не имеющих существенных нарушений здоровья, а также неблагоприятных факторов в психоэмоциональном статусе. Перед обследованием участников информировали о порядке проведения тестовых процедур. Во время обследования испытуемый находился в слабоосвещенной звукоизолированной комнате, в положении сидя за компьютерным столом.

Методика эксперимента была аналогична разработанной ранее [1]. Процедура обследования состояла из предварительной и основной частей. Предварительное обследование включало следующие функциональные пробы:

1. Фоновая проба, во время которой обследуемый в течение трех минут находился в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами.
2. Выполнение простой аудиомоторной реакции (ПАМР) в течение трех минут. В качестве слуховых стимулов использовались щелчки интенсивностью 100 дБ длительностью 1 мс, подаваемые с межстимульным интервалом  $2 \pm 20\%$  с. Задачей было максимально быстрое нажатие указательным пальцем левой руки на правую кнопку манипулятора «мышь» в ответ на предъявление каждого стимула.

После предварительной части следовала основная часть обследования. В течение 3-5 мин обследуемым давалась инструкция о необходимости одновременного выполнения двух заданий, и проводилось ознакомление с внешним видом и управляющими клавишами интерфейса. В качестве основного задания предлагалось решить 60 арифметических примеров на умножение двузначных чисел. Предъявление примеров и вариантов ответа осуществлялось на сером фоне, на дисплее, находящемся на расстоянии 1 м на уровне глаз. Каждый пример имел три варианта ответа (из них два неверных), последняя цифра которых совпадала для исключения угадывания. Одновременно испытуемый мог видеть только один из возможных вари-

антов ответа. Выбор варианта ответа производился испытуемым правой рукой с помощью цифровых клавиш стандартной компьютерной клавиатуры, подтверждение ответа – нажатием клавиши Enter.

Параллельно с решением примеров испытуемый выполнял второе задание, идентичное по содержанию функциональной пробе с выполнением ПАМР.

В ходе всего обследования проводилась регистрация комплекса электрофизиологических показателей с помощью компьютерного электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» (НПКФ «Медиком-МТД», г. Таганрог). ЭЭГ регистрировалась монополярно по системе 10–20 в 21 стандартном отведении с шагом дискретизации 4 мс и частотной полосой пропускания 0,5–70 Гц. Референтные электроды располагались на мочках ушей, а индифферентный электрод – на лбу.

Оцифрованная ЭЭГ экспортировалась в программную среду «Matlab», где проводилась ее дальнейшая обработка. Рассчитывались время реакции (ВР) и спектральная мощность основных ритмических диапазонов. Для оценки эффективности деятельности по арифметическому счету в уме рассчитывался процент правильных ответов и время решения каждого примера. ВР рассчитывалась как отрезок времени между моментом предъявления стимула и моментом начала двигательной реакции. Достоверность различий поведенческих параметров оценивалась в программной среде «Statistica 7.0» с использованием *t*-критерия Стьюдента для независимых переменных.

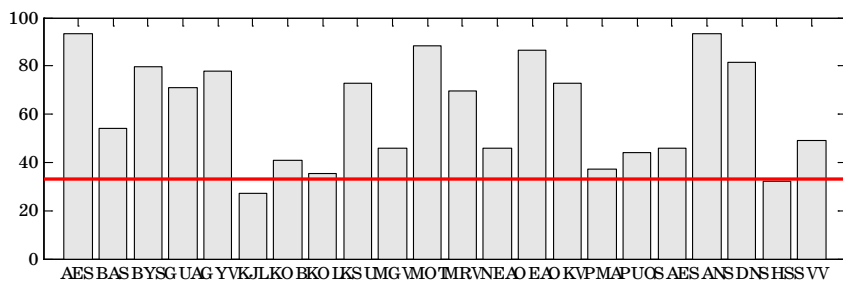
Разделение записи на фрагменты с разным уровнем когнитивного напряжения (КН) проводилось по алгоритму, описанному в работе [1] на основании данных о ВР ПАМР. Состоянию с низким уровнем КН (КН1) соответствовало ВР ПАМР в пределах 100–400 мс, среднему уровню КН (КН2) – 400–1000 мс, высокому уровню КН (КН3) – свыше 1000 мс и пропуски.

ЭЭГ, зарегистрированная во время выполнения двух видов деятельности, была разделена в соответствии с тремя состояниями с разным уровнем КН. Расчет средних значений спектральной мощности ЭЭГ проводился для следующих ритмических диапазонов: дельта

(1–3,5 Гц), тета (4–8 Гц), альфа (8–13 Гц), бета (13–40 Гц). Перед усреднением ЭЭГ фильтровалась в диапазоне 0,5–24 Гц. Полученные значения сравнивались для пяти функциональных проб. В качестве фонового состояния для данного показателя использовалось состояние спокойного бодрствования с открытыми глазами (первая проба). Активность мозга во время выполнения ПАМР рассматривалась как соответствующая активации только части мозговых ресурсов, необходимой и достаточной для выполнения простой деятельности.

**Результаты**

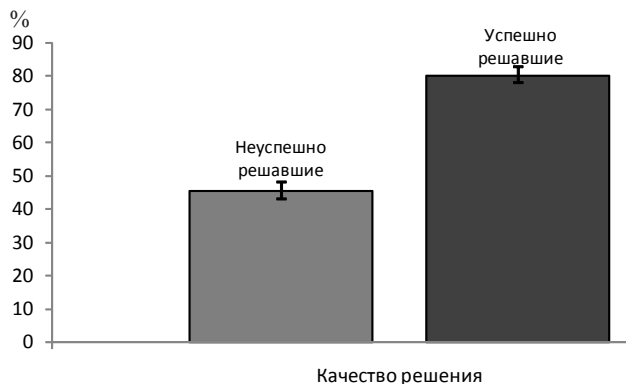
Качество выполнения деятельности по решению арифметических примеров в уме оценивалось по процентному содержанию правильных ответов для каждого обследуемого. Результаты решения первого примера не учитывались, поскольку в это время происходило ознакомление с тестовой ситуацией. На рис. 1 показан процент



**Рис. 1. Процент правильных ответов в обследованной группе.** Обозначения: по оси ординат показано число правильно решенных примеров, %, по оси абсцисс – обследованные. Жирной горизонтальной линией показан уровень, соответствующий случайному угадыванию

правильных решений по группе испытуемых. У четырех человек процент правильно решенных примеров не достигал либо незначительно превышал порог случайного угадывания в 33 %.

На основании данных о качестве основной деятельности все испытуемые были разделены на 2 группы: успешно решавшие (10 человек, 81,3±2,3 % правильных ответов) и неуспешно решавшие (9 человек, 45,56±2,56 % правильных ответов) (рис. 2). В группе успешно решавших качество деятельности варьировало от 70 до 95 %,

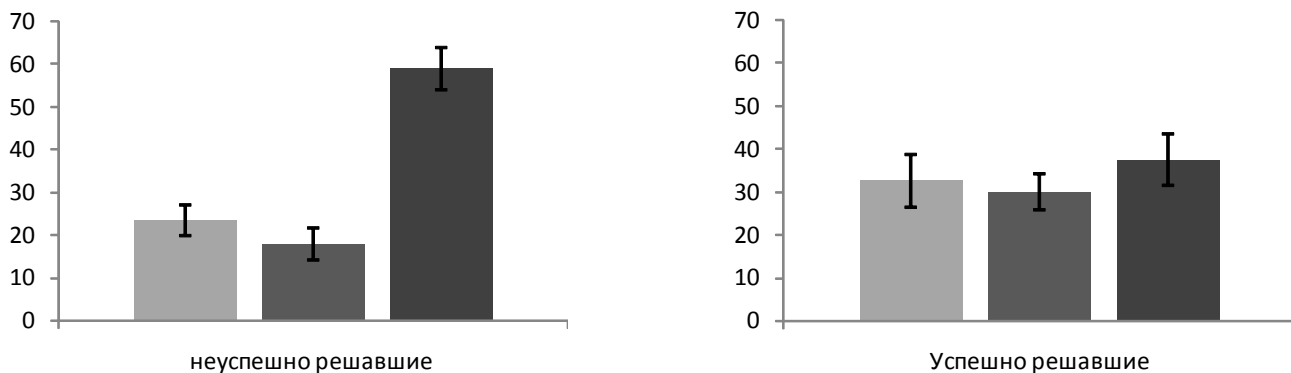


**Рис. 2. Процент правильно решенных примеров, усредненный по двум группам испытуемых.** Обозначения: по оси ординат показано число правильно решенных примеров, %

в группе неуспешно решавших – от 35 до 55 %. Низкое качество деятельности коррелировало с более коротким временем выполнения основной деятельности (38,67±4,45 мин, минимальное – 21 мин, максимальное 58 мин) в сравнении с таковым для группы с высоким качеством деятельности (48,8±3,84 мин, минимальное 36 мин, максимальное 73 мин).

Большое количество испытуемых с низким качеством деятельности (но выше уровня случайного угадывания) указывает на наличие в данной группе двух стратегий деятельности: непосредственно решения примеров и попыток угадывания правильного ответа.

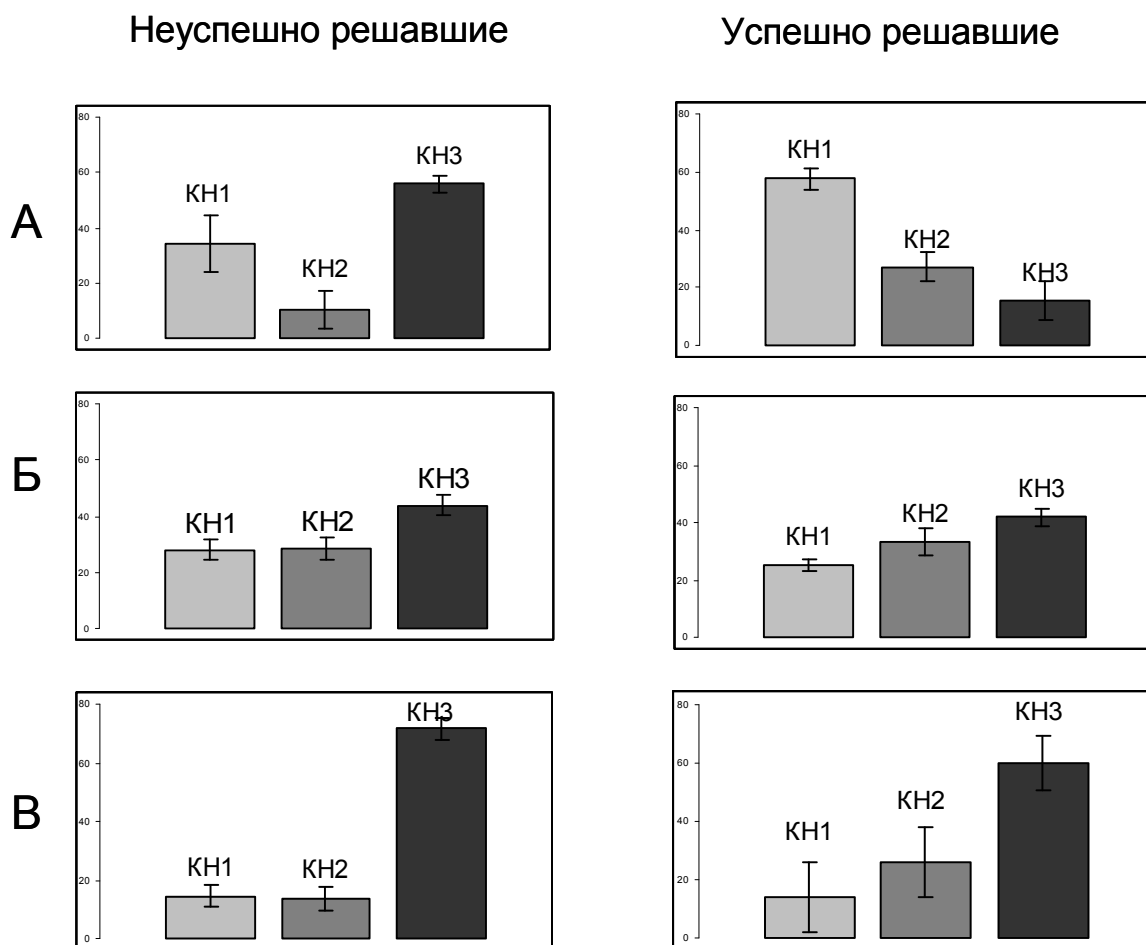
После выделения на основании ВР трех уровней КН каждая группа рассматривалась отдельно. На рис. 3 представлено усредненное соотношение трех уровней КН в группах с разным уровнем успешности деятельности. Можно видеть, что в группе с низким качеством деятельности наблюдается достоверное преобладание высокого уровня КН (58,94±4,92 %). Количество низкого и среднего уровня КН достоверно не различались (23,32±3,68 % и 17,75±3,69 % соответственно). В группе с высокими показателями результативности не показано доминирования одного из КН (КН1: 32,47±6,10 %; КН2: 30,00 ±4,27 %; КН3: 37,53± 6,03 %).



**Рис. 3.** Соотношение уровней КН в группах с разным уровнем успешности деятельности. Обозначения: по оси ординат – процентное содержание уровней КН по группам обследованных, по оси абсцисс – уровни КН

В зависимости от преобладания одного из уровней КН все испытуемые были условно разделены на 6 групп (рис. 4). На основании этого

можно выделить несколько стратегий деятельности по решению задач.



**Рис. 4.** Разделение групп с разной эффективностью деятельности на подгруппы в зависимости от соотношения уровня КН

В группе неуспешно решавших к первой подгруппе отнесены испытуемые с достоверно более низкими значениями КН2. Поскольку КН2 связывается нами с подготовительными операциями для решения примеров, можно предполагать, что эти испытуемые были не в состоянии одновременно выполнять оба параллельных вида деятельности и сосредоточивали внимание только на одном из них. Низкое качество деятельности, однако, свидетельствует о том, что с основной задачей по решению примеров испытуемые также не справлялись, переходя к стратегии угадывания ответа и выполнению ПАМР. К подгруппе Б относились испытуемые, пытавшиеся эффективно выполнять мыслительную деятельность, куда расходовались основные когнитивные ресурсы и КН1 оказывался достоверно ниже суммарного КН2 и КН3. Присутствие КН2 в этой группе, связываемое нами с осуществлением подготовительных операций, свидетельствует о попытках испытуемых выполнять решение примеров с надлежащим уровнем качества. Однако низкий процент правильных ответов вкупе с доминированием КН3 свидетельствует о существенном дефиците когнитивных ресурсов, за счет чего эффективность решения обеих типов задач была невысокой. Аналогичная картина показала и для подгруппы В. Дефицит когнитивных ресурсов приводил к отказу испытуемых выполнять простую задачу и сосредоточении только на выполнении сложной. Для этой подгруппы также показано максимальное время решения примеров (45–55 мин).

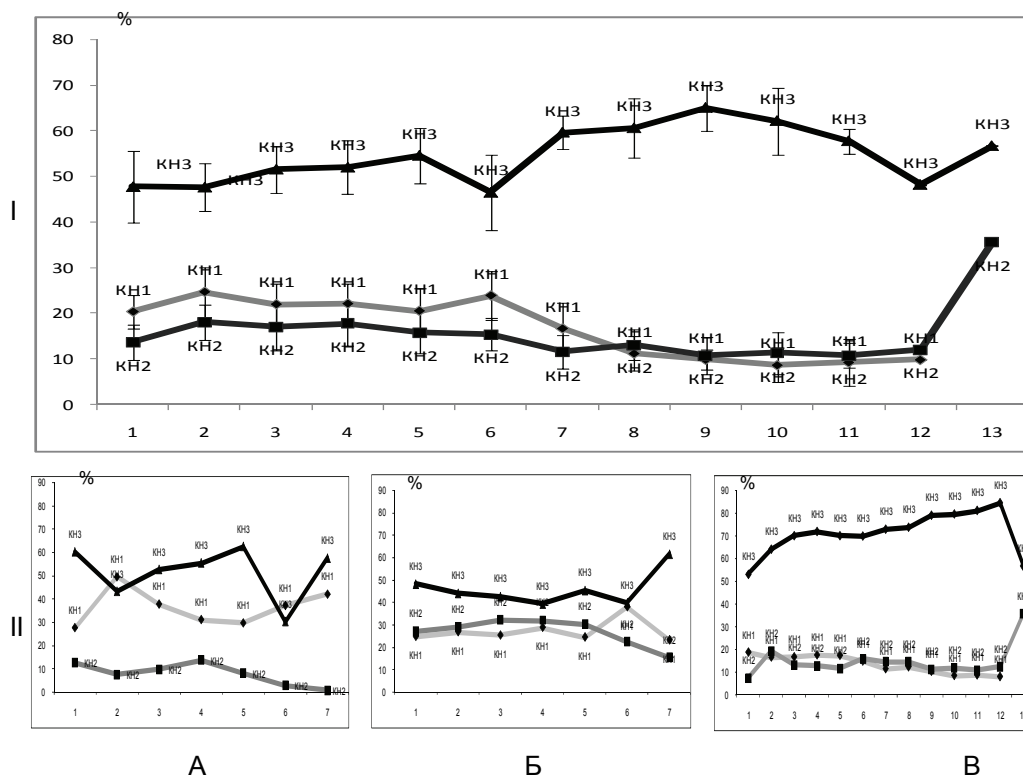
К подгруппе А в группе успешно решавших отнесены испытуемые с высокой долей КН1. Однако, поскольку количество КН2 для них не было минимальным и в сумме с КН3 примерно было равным доле КН1, а качество решения было высоким, можно говорить о том, что испытуемые этой группы удовлетворительно справлялись с обоими видами задач. Испытуемые подгруппы Б также справлялись с обоими видами деятельности, но в данном случае преобладало решение примеров. За счет нехватки когнитивных ресурсов качество второй деятельности резко ухудшалось. В подгруппе В эта ситуация проявлялась наиболее четко – испытуемые фактически выполняли только мыслитель-

ную деятельности, возвращаясь к ПАМР в перерывах между примерами. Следует отметить, что для большинства обследуемых с плохой результативностью нехарактерны состояния с низким и средним КН.

Далее проводился анализ динамики уровня КН на протяжении всего времени тестирования. Для этого период выполнения деятельности был разделен на ряд этапов, длительность каждого из которых составляла 5 мин.

На рис. 5 представлена динамика трех уровней когнитивного напряжения в группе с низкой результативностью деятельности. Из рисунка следует, что в целом в данной группе на протяжении всей деятельности доминировал высокий уровень КН (рис. 5, I). От 1 этапа ко 2 количество КН3 не менялось. КН1 и КН2 возрастали. Это может быть объяснено процессом освоения экспериментальной ситуации, актуализацией навыка решения сложных арифметических примеров. От 2 к 5 этапу количество КН3 плавно возрастало, одновременно с чем стабилизировался и несколько снижался уровень КН1 и КН2. На 6 этапе происходит резкое снижение уровня КН3 (ниже 1 этапа), одновременно с возрастанием КН1. На протяжении второй половины задания КН3 и КН1 находились в противофазе. На 7–9 этапах КН3 плавно возрастал, а затем начинал снижаться к концу пробы. КН1 снижался на 7–9 этапах. На протяжении первой половины пробы КН2 незначительно нарастал; на 7–12 этапах оставался стабильно низким.

При анализе динамики КН в выделенных подгруппах (рис. 5, II) было показано, что общегрупповая тенденция в виде доминирования КН3, его нарастания к концу пробы и наличия некоторого снижения на 5–6 этапе было отмечено только для подгруппы В. Значения КН1 и КН2 на протяжении всего решения задач оставались стабильно низкими, за исключением некоторого нарастания КН1 на 3–5 этапах. В группе Б доминирование КН3 было выражено значительно слабее. Некоторое снижение значений КН3 и рост КН1 происходило на 4 этапе. Особенностью этой подгруппы были более высокие значения КН2 в сравнении с КН1 и их стабильное увеличение на 1–5 этапе и последующее снижение к концу решения примеров.



**Рис. 5.** Динамика уровня когнитивного напряжения в группе с низкой результативностью деятельности. Обозначения: I – усредненная по группе динамика уровней КН; II – динамика уровней КН в каждой из трех подгрупп. По оси ординат отмечено количество КН в %, по оси абсцисс – номер этапа

В группе с высокой результативностью мыслительной деятельности динамика трех уровней КН существенно отличалась от предыдущей группы (рис. 6, I). На 1–2 этапах происходила стабилизация всех трех уровней КН в виде снижения значений КН3 и некоторого увеличения КН1 и КН2. Далее вплоть до 9 этапа не отмечено резких изменений. Значения КН3 плавно возрастали до 7 этапа, а затем снижались. Противопоза КН1 и КН3 наблюдалась на 4 этапе, а на 5 КН1 был в противопозе с КН2.

Разброс уровней КН на 10–15 этапах связан с небольшим количеством испытуемых, время решения примеров у которых позволило провести усреднение уровней КН на последних этапах. Время выполнения задания у большинства испытуемых не превышало 50 мин, поэтому на последних этапах усреднялось 3–4 значения.

При рассмотрении выделенных подгрупп наибольшее сходство с общегрупповыми тенденциями показано для подгруппы Б, флуктуация значений КН на 3–12 этапах была наимень-

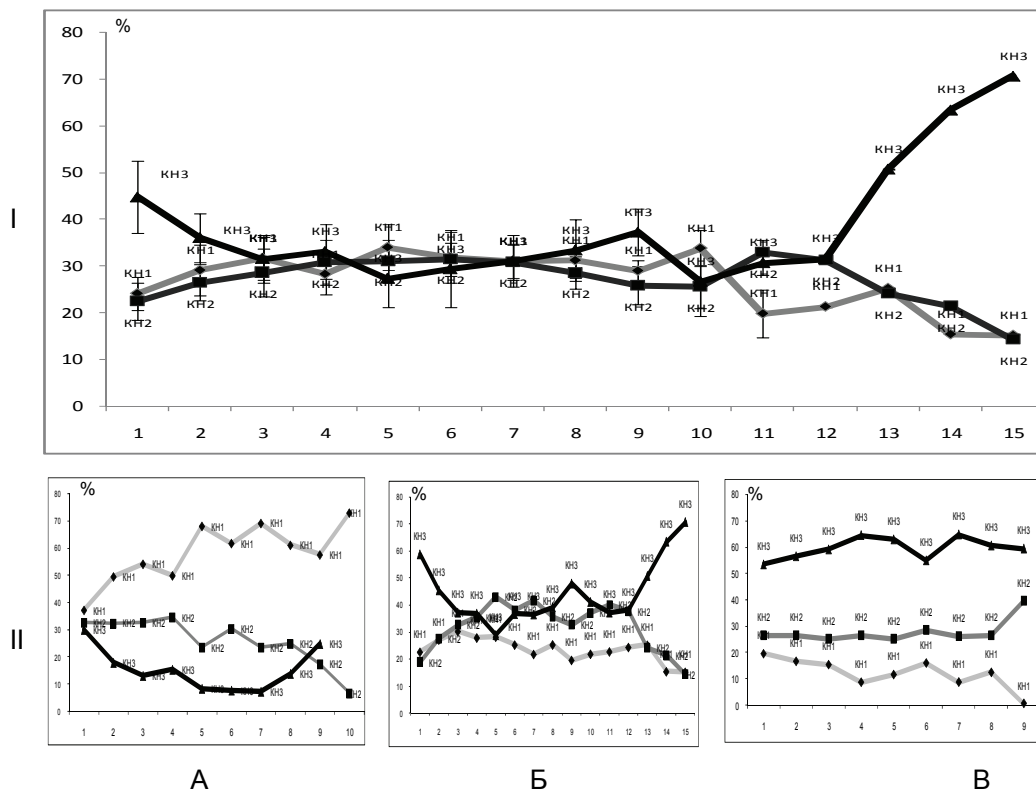
шей. Стабилизация уровней КН в виде значимого снижения значений КН3 и увеличения КН1 и КН2 происходила дольше (на 1–3 этапах). Уровень КН1 стабильно снижался на протяжении пробы, его противопозы с КН3 в первой половине пробы не отмечено. На 5 этапе в результате достижения наименьших значений КН3 наблюдается противопоза высокого и среднего КН, после чего оба показателя стабильно возрастают. Существенный разброс значений КН после 11 этапа также связан с малым числом усреднений.

По соотношению уровней КН подгруппы А и В фактически были полярны. В подгруппе В значения уровня КН3 оставались достоверно более высокими на протяжении всей записи. На 6 этапе значения КН3 резко снижались и наблюдалась противопоза с КН1. Значения КН1 стабильно снижались до 4 этапа, после чего возрастали вплоть до наступления противопозы с КН3. Уровень КН2 занимал промежуточное положение и значимо не менялся.

Можно видеть, что динамика уровня КН в подгруппе В была очень сходна с общегрупповой для неуспешно решавших. Следовательно, и для испытуемых данной подгруппы можно предполагать высокий дефицит когнитивных ресурсов, и достижение высоких результатов сопровождалось существенными их затратами.

Особенностью подгруппы А было доминирование уровня КН1 на протяжении всей дея-

тельности. На 1–3 этапах происходит значимое возрастание значений КН1 вкпе со снижением значений КН3 (КН2 значимо не менялся). На 4 этапе происходит сближение уровней когнитивного напряжения за счет уменьшения значений КН1 и возрастания КН3, после чего продолжается увеличение КН1 и возрастания КН3, после чего продолжается увеличение КН1 и снижение КН3. Также начинается снижение значений КН2.

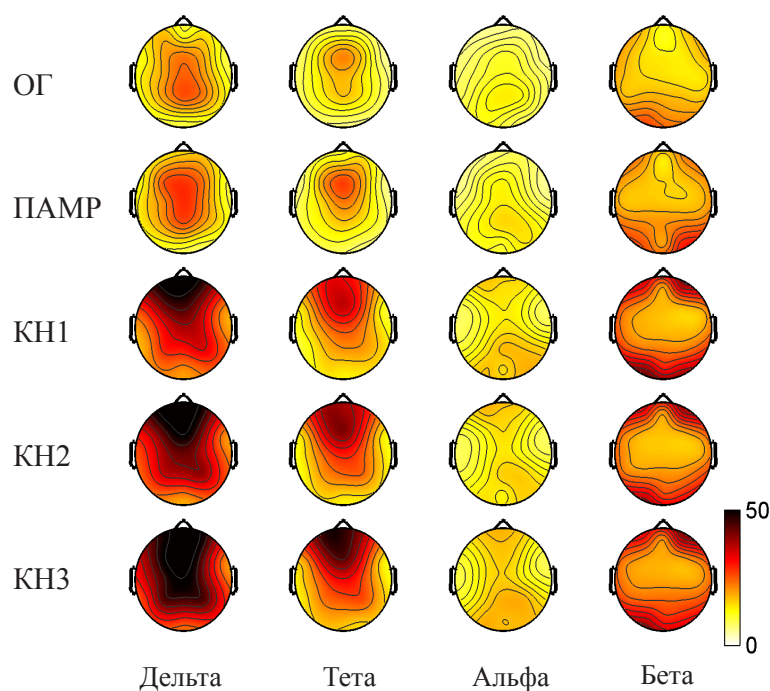


**Рис. 6. Динамика уровня когнитивного напряжения в группе с высокой результативностью деятельности.** Обозначения: I – усредненная по группе динамика уровней КН; II – динамика уровней КН в каждой из трех подгрупп. По оси ординат отмечено количество КН в %, по оси абсцисс – номер этапа

Анализ общей активации мозговых структур проводился по данным ЭЭГ на выборке испытуемых, показавших высокую результативность при решении примеров (10 человек). На рис. 7 представлены карты распределения спектральных характеристик основных ритмических диапазонов ЭЭГ для состояний с разным уровнем КН при выполнении ПАМР и в состоянии спокойного бодрствования.

Из рисунка следует, что в покое при открытых глазах (на рисунке ОГ) наблюдалось доминирование частот дельта-диапазона, фокус

максимальной выраженности (ФМВ) которого был локализован в теменных областях с распространением колебаний в центральные и лобные области. Фокус максимальной выраженности частот тета-диапазона располагался симметрично в лобно-центральной области и отличался существенно меньшей спектральной мощностью. Альфа-частоты в фоновом состоянии отсутствовали. Бета-ритм присутствовал в виде отдельных колебаний без выраженных фокусов активности.



**Рис. 7. Распределение активности по поверхности скальпа для различных состояний.** Обозначения: ОГ – фон с открытыми глазами, ПАМР – простая аудиомоторная реакция, КН1, КН2, КН3 – состояния низкого, среднего и высокого когнитивного напряжения при выполнении арифметического счета в уме. Темный цвет соответствует более высоким значениям спектральной плотности в соответствующих ЭЭГ-отведениях

Переход к выполнению ПАМР, субъективно воспринимаемой как достаточно легкая деятельность, сопровождался незначительным увеличением мощности активности в дельта- и тета-диапазонах без смены расположения фокусов максимальной выраженности на поверхности скальпа. Для дельта-частот показано усиление в лобно-центральной области. В остальных ритмических диапазонах значимых изменений не отмечено.

Основные изменения характеристик ЭЭГ показаны при параллельном выполнении ПАМР и вычислений в уме. Помимо общего увеличения значений спектральной мощности ЭЭГ во всех диапазонах происходили перестройки паттернов активности. Основные изменения были связаны с дельта- и тета-частотными диапазонами, где наблюдалось возрастание спектральной мощности с формированием четких фокусов в лобных областях и распространением активности в центральные и теменные отведения. Уже

для КН1 показано появление большого переднего очага активности в дельта и тета-диапазонах в лобных областях коры. Слабо выраженный теменно-затылочный фокус альфа-ритма несколько расширился в затылочной области.

По мере увеличения когнитивной нагрузки (КН2) наблюдалось усиление дельта-активности в центральных и тета-активности в лобных отведениях. В итоге при максимальном уровне КН3 частоты дельта-диапазона с четким фокусом в передних областях захватывали центральные и теменные области. В области тета-диапазона усиление спектральной мощности в лобных областях также сопровождалось иррадиацией колебаний в центральные и теменные. Теменно-затылочный фокус альфа-ритма также несколько расширился, однако лобно-затылочный градиент колебаний сохранялся. Напряженная мыслительная деятельность при высоком КН также сопровождалась некоторым усилением бета-активности в лобных отведениях.

Таким образом, основной особенностью паттерна активности при параллельном выполнении ПАМР и вычислений в уме стала активация передне-лобных областей. Увеличение уровня КН последовательно сопровождалось увеличением спектральной мощности в области дельта и тета-частот. Увеличение выраженности частот альфа-диапазона показано в правой полушарии при переходе от КН1 к КН2. Значения при КН3 не отличались от таковых при КН2. В лобных отведениях бета-активность с частотой Гц была больше в состоянии высокого КН.

### Обсуждение

Процесс решения примера может быть условно разделен на ряд стадий: чтение условия задания, 3–7 – промежуточные арифметические операции, сопоставление результата с предлагаемыми вариантами, подтверждение выбранного



варианта ответа. Время общего выполнения зависит от скорости решения на каждой стадии и скорости переключения с одной стадии на другую. Ошибочное решение обычно возникает в случае неправильного выполнения одной из стадий решения. В большинстве случаев успешное решение арифметического примера включало непродолжительный период углубления в совершение мыслительных операций, что сопровождалось пропуском тестовых стимулов, (состояние высокого КН). У многих обследуемых при обнаружении собственной ошибки происходило повторное выполнение тех же операций, что удлиняло время решения. В качестве основной причины возникновения ошибок оказывалось желание испытуемого увеличить собственную скорость выполнения задания, вследствие чего результат выполнения промежуточных операций оказывался неверным. Причина такого эффекта у испытуемых, вероятно, заключалась в индивидуальных способах оптимизации деятельности, выбираемых с целью сокращения общего времени выполнения задания при сохранении качества. К таким способам могут быть отнесены комплексирование стадий решения примера, специальные приемы округления до десятков для удобства счета с последующим вычитанием, приблизительное вычисление или угадывание ответа. Использование этих способов в свою очередь зависит от сформированности навыков счета в уме. Большой процент испытуемых, результативность которых была выше уровня случайного угадывания, но при этом достаточно низкой, указывает на то, что отношение к разным примерам отличалось – одни примеры обследуемые решали, а другие – субъективно более сложные – не решали, а пытались угадать ответ.

На основании подхода, разработанного ранее, можно предполагать, что каждый уровень КН соответствует преобладанию одного из предлагаемых видов деятельности (ПАМР, умножение). Параллельное их выполнение в основном обеспечивалось процессами переключения и распределения внимания между двумя задачами. Аналогично, низкий уровень когнитивного напряжения (КН1) соответствовал преимущественно выполнению ПАМР. В это время значимой конкуренции за ресурсы не наблюдается,

и выполнение каждого вида деятельности происходит эффективно. Увеличение среднего ВР ПАМР и переход в состояние со средним уровнем КН отражает начальные стадии подготовки к выполнению примера, такие как чтение условий задания, осуществление некоторых предварительных преобразований числовой информации, а также моменты «отвлечения от работы», во время которых испытуемый не решает задачу. На данном этапе переключение между видами деятельности наблюдается чаще всего. Высокий уровень КН связывается непосредственно с осуществлением промежуточных расчетов, удержанием их результатов в оперативной памяти, в этом состоянии возникает рост уровня когнитивного напряжения и конкуренция за ресурсы, что влечет за собой снижение качества выполнения ПАМР, служащей обратным маркером эффективности выполнения сложной деятельности.

С этой позиции неодинаковая доля уровней КН в группах с разной результативностью решения примеров отражает, помимо общего уровня напряженности, количество когнитивных ресурсов, требующихся для реализации деятельности.

В группе с высоким качеством выполнения заданий все три уровня КН находились приблизительно в одинаковом соотношении. Их соотношение, сохранявшиеся в течение всего тестирования, устанавливалось уже через 5–6 мин после начала деятельности. Поскольку время нахождения испытуемого в состоянии КН1 было сопоставимо с двумя другими, можно говорить о стабилизации навыка параллельного выполнения двух видов деятельности разного содержания, реализация которого не сопровождается сколько-нибудь значительными флуктуациями. Снижение уровня КН3 на 5–6 этапах соответствует окончанию процесса адаптации к экспериментальной ситуации и наступлению вработывания как приспособления к специфике деятельности путем отработки наиболее рациональных способов выполнения действий (Новиков, 1986). Вероятнее всего, для сложной интеллектуальной деятельности (протекающей к тому же на фоне параллельного выполнения простой) усредненное время 30 мин является субъективным порогом освоения задания, вы-

бора индивидуальной стратегии деятельности. Поскольку процедура тестирования занимала достаточно длительное время, увеличение доли высокого уровня КН к концу тестирования свидетельствует о наступлении утомления, истощения.

Испытуемые группы с низким качеством деятельности большую часть времени прохождения теста находились в состоянии высокого КН, пытаясь справиться с заданием. Низкая доля состояния с низким и средним КН свидетельствует о неспособности обследованных данной группы совмещать арифметические расчеты и выполнение ПАМР, а мыслительная нагрузка вызывала ступор. Можно предполагать наличие в данной группе исходно достаточного уровня мотивации к выполнению теста. Однако в процессе тестирования отсутствие или недостаточная выработанность навыков проведения сложных арифметических расчетов, дефицит ресурсов кратковременной вербальной памяти, внимания и т.д. приводили к отказу от качественного выполнения деятельности и переходу к угадыванию правильного ответа. В динамике КН на это может указывать снижение уровня КНЗ к концу тестирования, что также может быть сопряжено с общим утомлением и снижением уровня функционального состояния. Сдвиг времени вработывания в группе с плохой результативностью деятельности также может являться признаком чрезмерной сложности задания, требующего более длительного времени для его освоения.

Разделение испытуемых на подгруппы позволяет использовать уровень КН и их соотношение как критерий уровня освоенности навыка выполнения сложной когнитивной деятельности, включающей интеллектуальную задачу и более простую, а также оценить количество когнитивных ресурсов, затрачиваемых на выполнение задания.

В группе успешно решавших подгруппа А соответствует одинаково эффективному выполнению обеих видов деятельности, поскольку количество времени, проведенного в состоянии КН1, было примерно равно суммарному КН2 и КН3. Следовательно, в данном случае преобладают процессы распределения внимания (достаточное количество КН2), что позволяет эффек-

тивно выполнять оба вида деятельности параллельно, не сосредоточиваясь на одной из них.

Отсутствие доминирования КНЗ исключает перенапряжение систем организма, а постепенное снижение доли КНЗ вкуче с одновременным нарастанием КН1 говорит об овладении навыком распределения ресурсов в соответствии с предлагаемым заданием. Высокое качество решения примеров, а также наличие выраженного КН2 позволяет исключить угадывание как стратегию выполнения задания.

Следовательно, для данной группы уровень сформированности навыка арифметического счета и параллельного выполнения двух видов деятельности можно считать высоким.

В подгруппах Б и В в разной степени проявлялся переход к последовательному выполнению заданий и преобладанию сложной деятельности. Отказ от выполнения ПАМР проявлялся в резком уменьшении уровня КН1, постепенно снижавшегося к концу пробы. Одновременное плавное уменьшение доли КНЗ является признаком наступавшего утомления и снижения уровня функционального состояния. Большой уровень КНЗ в целом говорит о высоком уровне когнитивного и психоэмоционального напряжения, за счет которого достигается высокое качество арифметической деятельности. Наиболее явно это проявлялось в подгруппе В, участники которой фактически отказались от выполнения ПАМР. Также для этой группы показано преобладание процесса распределения внимания, а момент вработывания наступал одновременно с неуспешно решавшими (6 этап).

Таким образом, в группе успешно решавших по соотношению различных уровней КН и их динамике в процессе тестирования выявлено несколько вариантов уровня освоенности навыка, не следующих только из показателей качества деятельности.

Особенностью всех подгрупп среди неуспешно решавших было достоверное преобладание состояния с высоким КН. Наиболее явно это проявлялось в подгруппе В, где значения КН1 и КН2 были минимальными. Для этих испытуемых можно предполагать невозможность качественного выполнения любого из предлагаемых видов деятельности, что проявляется в крайне низком времени нахождения испытуемых в со-

стояниях с низким и средним КН. Причиной малого количества КН1 может являться сознательный отказ испытуемого от выполнения ПАМР и попытки сосредоточения на выполнении только арифметических расчетов. О неуспешности и этой деятельности можно судить по малым значениям КН2 и тенденции к снижению в течение пробы. Причиной такого явления мог стать отказ испытуемого от тщательного решения примеров ввиду слабости навыка счета в уме и переходе к частичному решению и перебору предлагаемых вариантов. Существенный дефицит когнитивных ресурсов не позволял, однако, повысить эффективность выполнения ПАМР при отказе от тщательного решения, за счет чего количество пропусков и запоздалых нажатий не уменьшалось и, как результат, выявлялось отсутствие обоих навыков (счета в уме и сочетания двух видов деятельности).

В подгруппах А и Б на фоне сохранения доминирования КН1 сравнительно длительное время пребывания испытуемых в состояниях КН1 и КН2 свидетельствует о присутствии попыток качественного выполнения сложной деятельности как за счет непосредственно решения (Б), так и угадывания (А). Отличием от подгруппы В являлись попытки выполнения также и простой задачи. Низкое качество деятельности и преобладание КН3 было связано с частым переключением между двумя задачами, что, в свою очередь, являлось признаком исходно плохой сформированности навыка счета в уме и слабостью (или отсутствием) стабилизации навыка сочетания задач.

Анализ общей активации мозга по показателям спектральной мощности основных частотных диапазонов ЭЭГ показал значительное сходство паттернов активации в фоне и при выполнении ПАМР, которая субъективно воспринималась как достаточно легкая деятельность. Основные изменения, локализованные в области дельта- и тета-диапазонов, связываются нами с особенностями осуществления ПАМР. Небольшое увеличение количества дельта-колебаний в центральных отведениях могло являться следствием модулирующих влияний ритма подачи стимулов со средним МСИ 2 с. Процесс ожидания стимула мог отражаться в увеличении числа дельта-колебаний в центральных отведениях.

Увеличение выраженности бета-частот в правой височной коре отражало процесс восприятия слуховых сигналов и активацию селективного слухового внимания [20]. Рост высокочастотной альфа-активности в правых лобных областях коры связывается с выполнением нажатий левой рукой.

Особенностью картины активации при выполнении сложной арифметической деятельности было значимое повышение уровня активированности передне-лобных областей. Значимая активация передне-лобных и лобных областей в диапазоне дельта и тета-частот была отличительной особенностью задания с параллельным выполнением обоих видов деятельности. В области этих ритмических диапазонов уровень активированности достоверно возрастал по мере увеличения уровня КН.

Локализация полюсов активации в дельта и тета-диапазоне в передних областях позволяет говорить об активации фронто-таламической системы активации мозговых структур [20]. Увеличение уровня активированности лобных областей может быть связано с протеканием процесса принятия решения, опосредованного в случае арифметической деятельности процессом внутренней речи [18, 29]. При этом низкая эффективность интеллектуальной деятельности вкупе с увеличением уровня напряжения может отражаться в увеличении спектральных значений дельта-ритма в лобных областях [25].

Углубление мыслительного процесса сопровождалось усилением тета-активности и альфа-активности в лобных и центральных областях. Также общее генерализованное повышение активированности коры может являться отражением в ЭЭГ процессов произвольного внимания [29], тогда как произвольное внимание имеет более локальный характер. Асимметричный характер локализации дельта и тета-фокусов в сторону большей вовлеченности левого полушария может быть связан с наличием в экспериментальной ситуации некоторой посторонней информации, анализ которой происходит на произвольном уровне (в нашем случае это простой слуховой стимул); вследствие этого процесс опознания зрительного стимула (предъявляемые примеры) сопровождается уменьшением

ем вовлечения правополушарных механизмов и увеличением роли левого полушария [4].

Тета-активность в центральных областях может быть связана с принятием решения, а тета-активность с частотой 6–7 Гц и ее гармоника с частотой 14 Гц в передне-лобных зонах – с работой памяти. В литературе имеются данные, согласно которым увеличение спектральных характеристик ЭЭГ в диапазоне медленного тета-ритма в области зоны Брока и левой височной зоне может быть связано с осуществлением процесса внутренней речи, хранения и реверберации вербальной рабочей памяти, тогда как различия на частоте тета-ритма в правой дорсолатеральной префронтальной коре связываются с устойчивостью внимания [38]. Синхронизация в тета-полосе со смещением активации в левое полушарие также свидетельствует об использовании стратегии поиска арифметических фактов (что характерно для процедуры умножения); об этом же говорит отсутствие выраженной десинхронизации в альфа-диапазоне, связываемой в том числе с процедурами расчета [35]. Поскольку качество выполнения ПАМР падало по мере увеличения КН, логично связывать наблюдаемые изменения только с арифметической нагрузкой.

В работах [40–42] предполагается существование двух типов синхронизации ЭЭГ в диапазоне тета-ритма: узкополосная экзальтация, связанная с гиппокампальной ритмикой и отражающая кодирование сенсорной информации в памяти и широкополосная низкочастотная синхронизация. Интеллектуальная деятельность независимо от ее содержания связывается с первым типом синхронизации, что обеспечивается организацией таламо- и гиппокампально-кортикальных объединений. Ими же показано, что таламо-кортикальные процессы тета-синхронизации связаны прежде всего с иконической памятью [41], локализованной в гиппокампе [12].

Так как тета-синхронизация коррелирует также и с поведенческими показателями, то такая зависимость указывает на возможную связь ее с процессами внимания [8]. Поскольку наиболее четкое усиление тета-активности наблюдается в основном в передних областях, предполагается, что в условиях активного бодрствования

тета-ритм связан с субъективным погружением в работу и интеллектуальным напряжением [8]. Лимбико-кортикальный генез тета-частот позволяет также предполагать его связь с мотивационными процессами [23, 39, 43, 48, 52, 53] (и служить механизмом распространения мотивационных модулирующих влияний на кору [21]. В то же время имеются данные об отрицательной корреляции роста спектральной мощности тета-ритма и скорости протекания мыслительных процессов, что свидетельствует о развитии в коре тормозного состояния [15]. На основании этого наблюдаемое увеличение тета-ритма можно связывать с поддержанием оптимального для деятельности состояния (за счет гипоталамо-корковых взаимодействий) [9, 10], с психоэмоциональным напряжением и утомлением [13, 17, 30], наступающим по мере увеличения уровня КН, свидетельствующего о росте сложности деятельности.

Неоднозначным является вопрос о некотором увеличении количества альфа-волн, происходящем одновременно с ростом значений КН. Исходно количество альфа-волн было невелико, поскольку выполнение задания проходило при открытых глазах. Слабая динамика изменений в области альфа-ритма связана также с исходно малым количеством, поскольку решение задач происходило при открытых глазах. Явление синхронизации альфа-ритма при выполнении сложной деятельности также связывается с взаимодействием проекционных, ассоциативных зон и подкорковых структур, опосредованных произвольным вниманием, а также с процессами «перекачки» информации в долговременную память, локализованную в гиппокампе [41]. Усиление синхронизации в альфа-диапазоне может быть связано также с процессом ожидания стимула в областях коры, специфичных к модальности сигнала (в нашем случае предъявляемые зрительно примеры и варианты ответа) [22].

Асимметричный характер альфа-ритма в сторону преобладания его в правом полушарии был связан с типом деятельности. Показано, что устный счет в большинстве случаев приводит к адекватным сдвигам асимметрии в пользу активации левого полушария [11, 16]. В состояниях со средним и высоким КН повышение альфа-активности также могло отражать торможение

центральных моторных зон, соответствующее ухудшению или отсутствию выполнения нажатий пальцем руки.

В литературе, однако, имеются данные об отсутствии депрессии, нарушении топографической специфики распределения [14] или некотором нарастании мощности альфа-ритма при выполнении вербальных задач, или же отсутствие его перестроек [2].

Поскольку основными генераторами альфа-ритма являются ядра таламуса и корковые структуры, можно предполагать, что увеличение выраженности альфа-частот в состояниях с высоким КН может быть связано с процессами избирательной модуляции корковой активности [46, 47], за счет чего происходит перераспределение ресурсов активации в сторону преобладания более сложной деятельности. В работе [45] показано усиление альфа-синхронизации при выполнении счета в уме. Также можно предполагать активацию вентральной системы зрительной информации, участвующей в процессе распознавания зрительного стимула, и усиления зрительного внимания [50], что сопровождается изменениями прежде всего в теменно-затылочной и височной области [29].

Вопрос о связи фоновой мощности альфа-ритма и ее динамике в процессе реализации интеллектуальной деятельности с ее успешностью в литературе является дискуссионным. В работе [24] доказывалось, что большая относительная спектральная мощность альфа-ритма ЭЭГ характерна для индивидов с высокой эффективностью когнитивной деятельности и умственной работоспособностью. Другими авторами [25] показано наличие у испытуемых с низким уровнем умственной работоспособности высоких значений спектров мощности альфа-ритма и его низкой реактивности. Это согласуется с данными клинической электроэнцефалографии, согласно которым высокоамплитудный устойчивый альфа-ритм наблюдается у гиповозбудимых и низкорезактивных индивидуумов [10].

Увеличение напряженности мыслительной деятельности с ростом уровня КН сопровождалось усилением бета-активности в лобных и теменных зонах. Это может отражать общее повышение уровня активации мозговых структур за счет влияния стволовой ретикулярной форма-

ции [3, 19]. Это подтвердилось и в предыдущих работах, где отражение в бета-ритме общего роста уровня активации проявилось в отсутствии зональных и межполушарных различий при выполнении вербальных и невербальных нагрузочных проб [11]. Однако, поскольку в качестве генераторов бета-диапазона рассматриваются внутрикорковые структуры [9], его изменения также связывают с когнитивными актами, такими как семантический анализ [40–42], и процессами внимания [32].

Таким образом, среди изменений ЭЭГ, зарегистрированных при параллельном выполнении двух видов деятельности разного содержания, усиление выраженности дельта- и тета- частот, синхронизация альфа-ритма и изменения в области быстрого бета-ритма являются наиболее чувствительным показателем. Значимый рост выраженности дельта-колебаний в лобных областях предположительно связан с активацией фронтоталамической системы регуляции уровня бодрствования и произвольного внимания [20, 51], а распространение дельта-колебаний в теменные области – с активацией таламопариетальной системы, отвечающей за создание визуального представления задания или же за его проговаривание, а также за ресурсы произвольного внимания [20, 51]. Увеличение тета-активности в центральных областях и теменных может быть связано с восприятием сенсорных стимулов (подаваемые примеры), а в передне-лобных зонах – с процессом принятия решения и общим психоэмоциональным напряжением [20]. Также в ходе параллельного выполнения задач происходила активация обоих видов внимания. Выполнение ПАМР задействовало слуховую систему, связанную с произвольным вниманием, а решение примеров – зрительную систему, связанную с произвольным вниманием. В качестве анатомической структуры, обеспечивающей зрительное восприятие числа, предполагаются затылочно-височные пути [6, 36], т.е. в этот процесс вовлекается вентральная система обработки зрительной информации, включающая зрительные зоны затылочной и височной коры, а также префронтальную кору [49].

Наблюдаемая значимая активация лобных областей связывается с необходимостью осуществления сложной деятельности, опосредованной

произвольным вниманием [20, 31], а также с активацией процессов рабочей памяти, необходимой для осуществления арифметических операций [54, 55]. В частности, показана активация префронтальной коры при выполнении последовательных действий в условиях необходимости взаимодействия процессов рабочей памяти и поведенческих задач [44]. ЭЭГ-активация лобных областей могла определяться также и поиском решения задач. Известно, что функции лобных областей коры связывают с программированием сложных форм осознанного поведения, критическим анализом сложившейся ситуации и результатов собственного поведения, а также с произвольными формами регуляции текущего бодрствования и внимания [26–28]. При этом активность лобных отделов, как по данным ЭЭГ, так и по нейропсихологическим представлениям [18, 28], связана также с организацией и регуляцией поиска решения.

Максимальная активация левой лобной области при решении арифметических примеров может быть связана с необходимостью организации сложной вербальной деятельности, опосредованной внутренней речью [30, 37], топографически локализованной в области нижней левой лобной извилины [30]. Активация зоны Брока связывается со способом хранения цифровых данных в том числе посредством вербальных ассоциаций [36], а значит, требует участия основных речевых центров. Это связано с тем, что умножение как вербальная задача требует интеграции языковых представлений чисел, поскольку результаты промежуточных действий хранятся в вербальной рабочей памяти.

Сходное распространение общей активации мозговых структур при решении арифметических примеров было показано в наших предыдущих работах. Было выявлено, что умножение двухзначных чисел, выполнение операций с цифрами в разной степени захватывают оба полушария [11]. За счет активирующих влияний ретикулярной формации и структур таламуса [9,10] активируется левое полушарие, специфичное к выполнению операций с цифрами. В то же время необходимость оценки пространственных соотношений математических величин приводит к активации правого полушария, хотя и значительно менее выраженной [11].

## Abstract

*The quality of operations and changes in the level of cognitive stress (CS) in subjects with different efficiency of solutions of arithmetical two-digit multiplication were analyzed. It was shown that the decrease in the solution's quality was accompanied by a sharp increasing of the quantity of high level of CS. In the group with the high quality of the predominance of one of the levels of CS is not observed. The mental calculations were provided by the high levels of delta and theta activity of EEG in the frontal cortex, which probably reflects the increased level of intellectual activity.*

**Keywords:** reaction time; multiplication, of the solution's quality, cognitive stress, EEG.

## Литература

1. Айдаркин Е.К., Огарев М.И., Покуль С.Ю., Щербина Д.Н., Айдаркина Е.С. Разработка методов контроля текущего состояния обучающегося в динамике решения арифметических задач // Валеология, 2006. № 4. С. 69–77.
2. Артемьева Е.Ю., Хомская Е.Д. Изменение асимметрии волн ЭГ при различных функциональных состояниях в корме // Вопросы психологии, 1990, № 3. С. 74–84.
3. Баклаваджян О.Г., Еганова В.С. Нейронные механизмы гипоталамо-ретикулярных влияний на активность коры мозга // Успехи физиол. наук, 1982, Т. 13. № 2. С. 3–30.
4. Бетелева Т.Г., Фарбер Д.А. Роль лобных областей коры в произвольном и непроизвольном анализе зрительных стимулов // Физиол. человека. 2002. Т. 28. № 5. С. 5.
5. Варга М.Е., Павлова О.Г., Носова С.В. Функция счета и ее представительство в теменной коре у человека и животных // Журн. высш. нервн. деят. 2008. Т. 58. № 6. С. 663–677.
6. Городецкий И.Г., Захаров Е.С., Скоморохов А.А. Исследование и оценка психофизиологического состояния человека-оператора в процессе выполнения совмещенной операторской деятельности / Московский авиационный технологический университет, НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог, 2005.
7. Городецкий И.Г., Захаров Е.С., Скоморохов А.А., Артемов И.В. Адаптивная модель совмещенной деятельности человека-оператора // Сб. докл. 7-го Всерос. совещания-семинара «Инженерно-физиологические проблемы новой техники». Москва: 20–22 мая, 2003 г., М., 2003.

8. Евдокимов С.А., Кропотов Ю.Д., Мюлор А., Терещенко Е.П. Соотношение фазических и топических составляющих срединного лобного тета-ритма в тесте на внимание // Физиол. человека. 2006. Т. 32, № 6. С. 5–12.
9. Жирмунская Е.А. Клиническая электроэнцефалография (Обзор литературы и перспективы использования метода). М., 1991. 77 с.
10. Жирмунская Е.А., Лосев В.С. Система описания и классификации электроэнцефалограммы человека. М., 1984.
11. Иваницкая Л.Н., Богун А.С. Некоторые особенности ЭЭГ школьников при интеллектуальной нагрузке различного содержания // Валеология. 2007. № 3, С. 68–77.
12. Иваницкий Г.А. Распознавание типа решаемой в уме задачи по нескольким секундам ЭЭГ с помощью обучаемого классификатора: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007.
13. Ильюченко И.Р. Различия частных характеристик ЭЭГ при восприятии положительно-эмоциональных, отрицательно-эмоциональных и нейтральных слов // Журн. высш. нерв. деят. 1996. Т. 46, № 3. С. 457–468.
14. Каплан А.Я., Борисов С.В. Динамика сегментных характеристик альфа-активности ЭЭГ человека в покое и при когнитивных нагрузках // Журн. высш. нерв. деят. 2003. Т. 33, № 1. С. 22–32.
15. Киров В.Н. Электроэнцефалография. Ростов н/Д, 1998. 232 с.
16. Князева М.Г. Межполушарная организация альфа-ритма ЭЭГ в процессе когнитивной деятельности разной успешности // Физиол. человека. 1991. Т. 17, № 5. С. 50–60.
17. Лапина Т.Н. Психофизиологическая диагностика эмоций человека по показателям ЭЭГ: автореф. дис. ... канд. психол. наук. М., 2007. 26 с.
18. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. М., 2002. 384 с.
19. Макаренко И.Н., Златин Р.С., Ройтуб Б.А., Великая Р.Р. Гипоталамо-кортикальные влияния. Нейрофизиологические и нейрохимические механизмы. Киев, 1980. 247 с.
20. Мачинская Р.И. Нейрофизиологические механизмы произвольного внимания (аналитический обзор) // Журн. высш. нервн. деят. 2003. Т. 53, № 2. С. 133–150.
21. Мачинская Р.И., Дубровинская Н.В. Функциональная организация полушарий мозга человека при направленном внимании у детей 7–8 лет // Журн. высш. нервн. деят. 1996. Т. 46. № 3. С. 437–446.
22. Мачинский Н.О., Мачинская Р.И., Труш В.Д. Электрофизиологическое исследование функциональной организации мозга при направленном внимании. Сообщение 1. Взрослые в норме. // Физиол. человека. 1990. Т. 16, № 2. С. 5–16.
23. Симонов П.В. Эмоциональный мозг. М., 1981. 216 с.
24. Умрюхин Е.А., Джабраилова Т.Д., Коробейникова Т.Д., Иванова Л.В. Электроэнцефалографические корреляты индивидуальных различий эффективности целенаправленной деятельности студентов в экзаменационной ситуации // Журн. высш. нервн. деят. 2005. Т. 55, № 2. С. 195.
25. Фарбер Д.А., Курпичев В.И. Электроэнцефалографические корреляты индивидуальных особенностей умственной работоспособности у подростков // Журн. высш. нервн. деят. 1985. Т. 35. № 4. С. 649–657.
26. Хомская Е.Д., Скакун К. Особенности вербальных семантических связей у больных с поражением лобных долей мозга // Вопросы психологии. 1985.
27. Хомская Е.Д. Мозг и активация. М., 1972. 384 с.
28. Хомская Е.Д. Нейропсихология. СПб., 2005. 496 с.
29. Шарова Е.В., Болдырева Г.Н., Куликов М.А., Волынский П.Е., Котенев А.В., Окнина Л.Б. ЭЭГ-корреляты состояний зрительного и слухового внимания у здоровых испытуемых // Физиол. человека. Т. 35, № 1. С. 5–14.
30. Щепланова Е.И. Региональная избирательность ЭЭГ-активации как показатель мыслительной деятельности: автореф. дис. ... канд. психол. наук. М., 1977. 22 с.
31. Banich M.T., Milham M.P., Atchley R.A., Cohen N.J., Webb A., Wszalek T., Kramer A.F., Liang Z., Barad V., Gullett D., Shah C., Brown C. Prefrontal regions play a predominant role in imposing an attentional 'set': evidence from fMRI // Brain Res Cogn Brain Res. 2000. Sep;10(1-2):1-9.
32. Bekisz M, Wróbel A. Coupling of beta and gamma activity in corticothalamic system of cats attending to visual stimuli. Neuroreport. 1999 Nov 26;10(17). P. 3589–3594.
33. De Rammelaere S., Stuyven E., Vandierendonck A. Verifying simple arithmetic sums and products: Are the phonological loop and the central executive involved? Memory & Cognition. 2001. № 29. P. 267–273.
34. De Rammelaere, S., Vandierendonck, A. Are executive processes used to solve simple mental arithmetic production tasks? Current Psychology Letters: Behaviour, Brain & Cognition, 2001. № 2. P. 79–89.
35. De Smedt B., Grabner R.H., Studer B. Oscillatory EEG correlates of arithmetic strategy use in addition and

subtraction. // Exp. Brain Res. 2009. Vol. 195(4). P. 635–642.

36. Dehaene S., Piazza M., Pinel P., Cohen L. Three parietal circuits for number processing // Cognitive Neuropsychology. 2003. Vol. 20(3–6). P. 487–506.

37. Domahs F., Domahs U., Schlesewsky M., Rat-inckx E., Verguts T., Willmes K., Nuerk H. Neighborhood consistency in mental arithmetic: behavioral and ERP evidence // Behavioral and Brain Functions. 2007. Vol. 3, № 66. P. 1–42.

38. Harmony T., Fernández T., Silva J., Bosch J., Valdés P., Fernández-Bouzas A., Galán L., Aubert E., Rodríguez D. Do specific EEG frequencies indicate different processes during mental calculation? // Neuroscience Letters. 1999. Vol. 266, Issue 1, 30 April. P. 25–28.

39. Kahana M.J., Seelig D., Madsen J.R. Theta return // Current Opinion in Neurobiology. 2001. Vol. 11. P. 739–744.

40. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis // Brain Research Reviews. 1999. № 29. P. 169.

41. Klimesch W. Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization // Int. J. Psychophysiol. 1996. Vol. 24. P. 61.

42. Klimesch, W. EEG-alpha rhythms and memory processes // Int. J. Psychophysiol., 1997. Vol. 26. P. 319–340.

43. Kocsis B., Di Prisco G.V., Vertes R.P. Theta synchronization in the limbic system: the role of Gudden's segmental nuclei // Eur. J. Neurosci. 2001. Vol. 13. P. 381–388.

44. Koechlin E., Basso G., Pietrini P., Panzer S., Grafman J. The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition // Nature. 1999. May 13. P. 399(6732): 148–151.

45. Kreitman N., Shaw J.C. Experimental enhancement of alpha activity // Electroencephalogr. clin. Neurophysiol. 1965. Vol. 18. P. 147–155.

46. Llinas R., Ribary U., Contreras D., and Pedroarena C. The neuronal basis for consciousness // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 1998. Vol. 353. P. 1841–1849.

47. Lopes da Silva F. Neural mechanisms underlying brain waves from neural membranes to networks // EEG and Clinical Neurophysiology, 1991. Vol. 79. P. 81.

48. Miller J., Ulrich R. Simple reaction-time and statistical facilitation: A parallel grains model // Cognitive Psychology. 2003. № 46, P. 101–151.

49. Mishkin M., Ungerleider LG. Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-occipital cortex in monkeys // Behav. Brain. Res. 1982. Vol. 6(1). P. 57–77.

50. Mulholland TB, Peper E. Occipital alpha and accommodative vergence, pursuit tracking, and fast eye movements // Psychophysiology. 1971. Sep;8(5). P. 556–575.

51. Posner M.I., Peterson S.E. The attention system of the human brain // Ann. Res. Neurosci. 1990. Vol. 13. P. 25–42.

52. Verguts T., Fias W. Interacting neighbors: A connectionist model of retrieval in single-digit multiplication // Memory and Cognition. 2005. № 33. P. 1–16.

53. Wang X.J. Pacemaker neurons for the theta rhythm and their synchronization in the septohippocampal reciprocal loop // J. Neurophysiol. 2002. Vol. 87. P. 889–900.

54. Zago L., Petit L., Turbelin M.R., Andersson F., Vigneau M., Tzourio-Mazoyer N. How verbal and spatial manipulation networks contribute to calculation: an fMRI study // Neuropsychologia. 2008. Vol. 46(9). P. 2403–2414.

55. Zago L., Pesenti M., Mellet E., Crivello F., Mazoyer B., Tzourio-Mazoyer N. Neural Correlates of Simple and Complex Mental Calculation // NeuroImage 2001. № 13. P. 314–327.

Кафедра биохимии и микробиологии Южного  
федерального университета, Областной  
консультативно-диагностический Центр  
г. Ростова-на Дону.

Статья поступила в редакцию 20.09.10.