

УДК 612.821+616.89

НЕХОРОШКОВА Александра Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории прикладной психофизиологии института медико-биологических исследований Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 43 научных публикаций, в т. ч. одной монографии

ГРИБАНОВ Анатолий Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, директор института медико-биологических исследований Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 370 научных публикаций, в т. ч. 11 монографий

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ПОСТОЯННОГО ПОТЕНЦИАЛА ГОЛОВНОГО МОЗГА У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С ВЫСОКОЙ ТРЕВОЖНОСТЬЮ¹

В статье представлены результаты исследования, целью которого было определить особенности распределения уровня постоянного потенциала (УПП) головного мозга у детей с высокой тревожностью, которые могут быть объективными психофизиологическими маркерами детской тревожности. Обследовано 105 детей 8-10 лет – учащихся общеобразовательных школ г. Архангельска с нормальным (65 чел.) и высоким (40 чел.) уровнями тревожности. Результаты экспериментального исследования свидетельствуют об особенностях церебральных энергетических процессов детей с высоким уровнем тревожности, связанных, вероятно, с выраженным повышением активности модулирующей системы мозга. Суммарные показатели уровня постоянного потенциала головного мозга тревожных детей существенно превышают показатели их сверстников с нормальным уровнем тревожности. При этом увеличение суммарного УПП у детей при тревожности происходит за счет повышения значений потенциалов в каждой из регистрируемых областей головного мозга. Наибольшее увеличение значений УПП наблюдается в лобном и левом височном отделах головного мозга, что обусловлено активным влиянием фактора тревожности в младшем школьном возрасте на функциональные системы, обеспечивающие произвольную регуляцию психических процессов. У детей с высокой тревожностью отмечено нарушение принципа куполообразности распределения энергозатрат: максимальные значения УПП зарегистрированы в затылочном отведении, а разница в энергозатратах между центральным и затылочным отделами головного мозга практически отсутствует. Очевидно, сдвиг распределения УПП в затылочную область головного мозга может быть связан с усилением функциональной активности неспецифических ретикуло-лимбико-кортикальных нейронных связей при высокой тревожности.

Ключевые слова: дети с высокой тревожностью, распределение уровня постоянного потенциала, энергетическое состояние головного мозга.

¹Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (№ 14.У30.14.2785-МК).

© Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., 2015

Проблеме тревожности и ее влиянию на здоровье человека в современных научных исследованиях уделяется все большее внимание. Однако интерес исследователей преимущественно направлен на изучение физиологических изменений в организме взрослого человека, исследования детской тревожности описываются достаточно редко. Вместе с тем, за последнее десятилетие количество детей с высоким уровнем тревожности увеличилось и продолжает возрастать, а тревожные расстройства, наблюдаемые у детей, не похожи на нарушения функционального состояния, отмечаемые у тревожных взрослых [1].

Проявления тревожности можно регистрировать на центральном и периферическом уровне нервной системы. Однако периферические показатели имеют существенные недостатки, т. к. изменяются гораздо медленнее, чем происходит тревожное реагирование, и неспецифично по отношению к эмоциям в силу зависимости от большого количества факторов [2]. Изучение эмоциональных процессов на центральном уровне более информативно и лишено вышеперечисленных недостатков.

В настоящее время одним из перспективных направлений в изучении функционального состояния центральной нервной системы является исследование энергетического состояния головного мозга с помощью метода регистрации уровня постоянных потенциалов (УПП) [3]. Определение уровня постоянных потенциалов является важным для расширения представлений об особенностях функционирования головного мозга детей [4, 5].

Однако анализ литературы показал, что в современных научных исследованиях изучению особенностей церебральных энергетических процессов при высокой тревожности у детей должного внимания не уделяется. Вместе с тем, в силу природы своего происхождения [6] характеристики УПП могут являться объективными психофизиологическими маркерами детской тревожности. В связи с вышесказанным проведение нашего исследования, целью которого было определить особенности рас-

пределения уровня постоянного потенциала головного мозга у детей с высокой тревожностью, является весьма актуальным.

Материалы и методы. В поперечном одномоментном исследовании принимали участие 105 детей в возрасте 8-10 лет. Все дети обучались в общеобразовательных школах г. Архангельска. Обследование детей проводилось с информированного согласия родителей.

На первом этапе исследования оценивался уровень личностной тревожности детей с помощью теста «Многомерной оценки детской тревожности (МОДТ)». Школьники были разделены на группы с высоким уровнем личностной тревожности (40 чел.) и с нормальным уровнем тревожности – контрольные группы (65 чел.).

На втором этапе исследования в обеих группах была проведена оценка распределения уровня постоянного потенциала головного мозга детей. Для регистрации и анализа УПП использовался 5-канальный аппаратно-программный комплекс для топографического картирования электрической активности мозга «НЕЙРО-КМ» ООО НМФ «СТАТОКИН». УПП регистрировали монополярно в лобном (Fz), центральном (Cz), затылочном (Oz), правом височном (Td) и левом височном (Ts) отведениях. Регистрацию производили после мероприятий, направленных на элиминацию артефактов электродного и кожного происхождения: до наложения электродов на голову ребенка производилось их предварительное тестирование в гипертоническом растворе (30 %) NaCl, при котором измерялось сопротивление между электродами в отсутствие биологического объекта, разность потенциалов между электродами не превышала 20 мВ, а межэлектродное сопротивление 1-20 кОм. Длительность регистрации составляла 15 мин, в местах отведений УПП осуществлялся контроль значений кожного сопротивления – не выше 30 кОм. Полученные характеристики УПП у детей обеих групп сравнивались между собой.

Обработка данных проводилась с использованием статистического пакета программ

«SPSS 21 for Windows». Производилась оценка распределения признаков на нормальность с использованием критерия Шапиро-Уилка, который показал соответствие изучаемых переменных закону нормального распределения. Для выявления различий между показателями УПП у сравниваемых групп детей использовали t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез в исследовании принимали равным 0,05.

Результаты и обсуждение. Анализ результатов исследования свидетельствует об особенностях церебральных энергетических процессов детей с высоким уровнем тревожности, связанных, вероятно, с выраженным повышением у них активности модулирующей системы мозга.

Так, суммарные показатели уровня постоянного потенциала головного мозга тревожных детей превышают показатели их сверстников с нормальным уровнем тревожности почти вдвое: 103,6 и 64,1 мВ соответственно, $p < 0,001$. При этом увеличение суммарного УПП у детей при тревожности происходит за счет повышения значений потенциалов в каждой из 5 областей головного мозга (см. таблицу).

Абсолютные значения УПП детей с тревожностью достоверно выше показателей группы контроля по всем отведениям: лобному, центральному, затылочному, правому височному и левому височному. Подобные особенности, вероятно, могут объясняться несбалансированным отношением регуляторных подкорково-стволовых структур у детей с тревожностью [7, 8]. Очевидно, при высоком уровне тревожно-

сти формируется состояние перевозбуждения в центральной нервной системе. В силу того, что медленные сдвиги постоянного потенциала являются отражением процесса возбуждения [9], наблюдается увеличение показателей УПП головного мозга у тревожных детей. Кроме того, при повышении уровня тревоги любая поступающая информация оценивается как важная, что, в свою очередь, приводит к уменьшению процессов торможения сенсорного потока [10]. Таким образом, можно предполагать, что повышение интенсивности церебрального энергообмена при тревожности может быть обусловлено также возрастанием сенсорной реактивности организма.

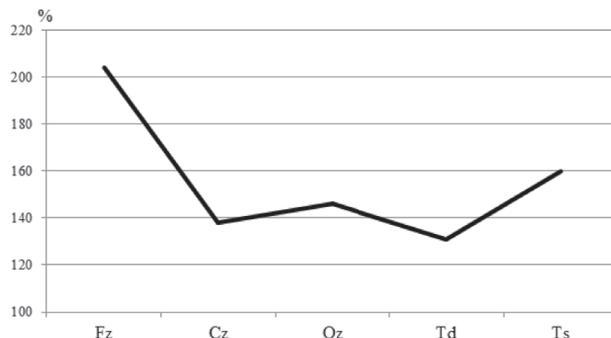


Рис. 1. Профиль распределения УПП головного мозга у детей с высокой тревожностью (за 100 % приняты значения УПП у детей контрольной группы)

На рис. 1 представлен профиль распределения уровня постоянного потенциала головного мозга младших школьников с высокой тревожностью относительно показателей УПП их сверстников из контрольной группы.

АБСОЛЮТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УПП (МВ) У ДЕТЕЙ С НОРМАЛЬНОЙ И ВЫСОКОЙ ТРЕВОЖНОСТЬЮ, $M \pm m$

Отведения	Нормальный уровень тревожности	Высокий уровень тревожности	p
Fz	8,1 + 1,0	16,6 + 1,2	< 0,001
Cz	17,5 + 1,1	24,1 + 1,3	< 0,001
Oz	16,7 + 1,1	24,3 + 1,1	< 0,001
Td	14,3 + 1,2	18,7 + 1,3	< 0,05
Ts	12,6 + 1,1	20,1 + 1,2	< 0,001

Анализ процентного соотношения показателей УПП у детей выявил наибольшую разницу по лобному и левому височному отведению – их повышение при тревожности составляет 104 и 60 % соответственно.

Высокая тревожность, как и любой другой неблагоприятный фактор, в первую очередь негативно влияет на те функции, которые находятся в стадии своего интенсивного развития, но в то же время и наибольшей уязвимости [1, 10]. Младший школьный возраст является сензитивным периодом созревания и качественной перестройки нейронов в области фронтальной коры, а также речевых отделов коры левого полушария – зон Вернике и Брока. Это связано с совершенствованием морфофункциональной организации коры головного мозга и усилением ее роли в обеспечении нисходящих влияний на глубинные регуляторные структуры [11].

Кроме того, само по себе переживание тревоги во многом связано с работой неокортекса, поскольку ощущение опасности определяется главным образом тем, как человек ее понимает. Важную роль в этом играют лобные доли: они вовлечены в процессы оценивания, планирования, координации стратегий и принятия решений, а кроме того, входят в ассоциативную систему с лимбическими структурами [12].

В нормальных условиях кора головного мозга человека может тормозить нижележащие центры, что позволяет организму смягчать проявления или регулировать интенсивность тревоги [12, 13]. Однако осуществления подобного контроля на оптимальном уровне возможно лишь при функциональной зрелости неокортекса, в первую очередь высших центров регуляции – лобных отделов. Важную роль в этом играет и зрелость мозговой организации такого регулятора поведения, как внутренняя речь. Функциональные системы мозга, обеспечивающие произвольную регуляцию, активно созревают и совершенствуются на протяжении всего периода младшего школьного возраста [11]. Можно предположить, что в данном возрасте высокая тревожность является фактором, активно влияющим на динамику протекания

этих процессов, что подтверждается наибольшим повышением показателей УПП у детей с тревожностью в лобном и левом височном отделах головного мозга.

Особенности протекания церебральных энергетических процессов высокотревожных детей выявлены и при анализе распределения постоянного потенциала по отделам мозга (рис. 2).

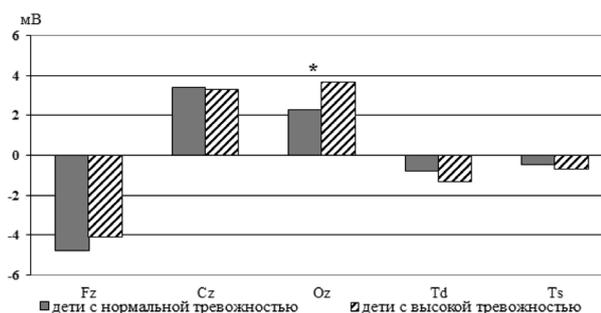


Рис. 2. Показатели УПП у детей с нормальной и высокой тревожностью относительно среднего значения по всем отведениям (звездочкой обозначена статистическая значимость различий между показателями у сравниваемых групп: * – $p < 0,05$)

Основной характеристикой нормального нейроэнергообмена выступает принцип куполообразности, при котором максимальные значения потенциала регистрируются в центральном отведении и плавно снижаются к периферии [4]. Из представленных на рис. 2 данных видно, что распределение постоянного потенциала у младших школьников с нормальным уровнем тревожности подчиняется данному принципу. У детей с высокой тревожностью максимальные значения УПП зарегистрированы в затылочном отведении, а разница в энергозатратах между центральным и затылочным отделами головного мозга практически отсутствует (0,4 мВ). При этом по показателям отклонения от среднего значения УПП в центральных отделах головного мозга контрольная и основная группы детей не имеют статистически значимых отличий ($p = 0,616$), а по показателям отклонения от среднего значения УПП в затылочных отделах разница между вы-

сокоотревожными младшими школьниками и их сверстниками с нормальным уровнем тревожности значима ($p = 0,034$) и составляет 3,7 и 2,3 мВ соответственно.

Следовательно, нарушение принципа куполообразности распределения нейроэнерготрат в группе детей с высокой тревожностью в большей степени обусловлено увеличением у них УПП в затылочных отделах головного мозга. Известно, что локальный УПП в затылочной области в определенной мере отражает изменения энергетического метаболизма в стволовых структурах, участвующих в регуляции эмоций [4, 5]. В то же время установлено, что структуры гипоталамо-гипофизарной системы и стволовой ретикулярной формации активируются при стрессе [14]. Очевидно, сдвиг распределения УПП в затылочную область головного мозга у тревожных детей также может быть связан с усилением функциональной активности неспецифических ретикуло-лимбико-кортикальных нейронных связей при высокой тревожности. Такие особенности распределения энерготрат, по-видимому, обусловлены более выраженным

повышением активности модулирующей системы мозга при тревожности за счет нарастания непродуктивной активации, связанной с оборонительным поведением и поиском источников тревоги [1, 7, 10].

Выводы. Таким образом, к особенностям церебральных энергетических процессов у детей с высокой тревожностью можно отнести:

– увеличение суммарных показателей УПП за счет повышения значений потенциалов в каждой области головного мозга;

– наибольшее повышение значений УПП в лобном и левом височном отделах головного мозга, что обусловлено активным влиянием фактора тревожности в младшем школьном возрасте на функциональные системы, обеспечивающие произвольную регуляцию;

– нарушение принципа куполообразности распределения нейроэнерготрат, обусловленное сдвигом распределения УПП в затылочную область головного мозга, что может быть связано с усилением функциональной активности неспецифических ретикуло-лимбико-кортикальных нейронных связей при высокой тревожности.

Список литературы

1. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Депутат И.С. Очерки психофизиологии деятельности тревожных детей. Архангельск, 2014. 142 с.
2. Коренек В.В., Павлов С.В., Рева Н.В., Брак И.В. Частотно-топографические корреляты субъективного и вегетативного компонентов эмоции // Бюлл. СО РАМН. 2010. Т. 30, № 4. С. 124–131.
3. Шмырев В.И., Витько Н.К., Миронов Н.П., Соколова Л.П. и др. Нейроэнергокартирование (НЭК) – высокоинформативный метод оценки функционального состояния мозга: метод. рекомендации. М., 2010. 21 с.
4. Фокин В.Ф., Пономарёва Н.В. Энергетическая физиология мозга. М., 2003. 288 с.
5. Боровова А.И., Галкина Н.С., Фокин В.Ф. Особенности УПП головного мозга при подростковой агрессии // Асимметрия. 2011. № 4. С. 39–50.
6. Speckmann E.-J., Elger C.E., Gorji A. Neurophysiological Basis of EEG and DC Potential // Niedermeyer's Electroencephalography / ed. by D.L. Schomer, F. Lopes da Silva. 6th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2011. P. 17–31.
7. Нехорошкова А.Н. Психофизиологический анализ зрительно-моторной деятельности у детей с высокой тревожностью: дис. ... канд. биол. наук. Архангельск, 2011. 118 с.
8. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Джос Ю.С. Проблема тревожности как сложного психофизиологического явления // Экология человека. 2014. № 6. С. 47–54.
9. Аракелян А.С., Долецкий А.Н. Изменение уровня постоянного биоэлектрического потенциала мозга при эмоциональных и физических нагрузках // XXII съезд Физиологического общества имени И.П. Павлова: тез. докл. Волгоград, 2013. С. 33.

10. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Депутат И.С. Взаимосвязь качественных параметров интеллектуальных и зрительно-моторных тестов у тревожных детей // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2013. № 1. С. 46–54.
11. Мачинская Р.И., Крупская Е.В. Созревание регуляторных структур мозга и организация внимания у детей младшего школьного возраста // Когнитивные исследования: сб. науч. тр. / под ред. В.Д. Соловьёва, Т.В. Черниговской. Вып. 2. М., 2008. С. 32–48.
12. Резникова Т.Н., Терентьева И.Ю., Катаева Г.В. Особенности метаболизма структур головного мозга при осознанной и неосознанной тревоге // Физиология человека. 2008. Т. 34, № 5. С. 5–12.
13. Kline J.P., Allen J.J., Schwartz G.E. Is Left Frontal Brain Activation in Defensiveness Gender Specific? // J. Abnorm. Psychol. 1998. Vol. 107. P. 149–153.
14. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека. М., 1988. 240 с.

References

1. Nekhoroshkova A.N., Gribanov A.V., Deputat I.S. *Ocherki psikhofiziologii deyatel'nosti trevozhnykh detey* [Essays on Psychophysiology of Anxious Children]. Arkhangelsk, 2014. 142 p.
2. Korenek V.V., Pavlov S.V., Reva N.V., Brak I.V. Chastotno-topograficheskie korrelyaty sub'ektivnogo i vegetativnogo komponentov emotsii [Frequency Topographical Correlates of Subjective and Autonomic Components of Emotions]. *Byulleten' SO RAMN*, 2010, vol. 30, no. 4, pp. 124–131.
3. Shmyrev V.I., Vit'ko N.K., Mironov N.P., Sokolova L.P., et al. *Neyro-energokartirovanie (NEK) – vysokoinformativnyy metod otsenki funktsional'nogo sostoyaniya mozga: metodicheskie rekomendatsii* [Neuro-Metabolic Activity Mapping (NMAM): A Highly Informative Method of Assessing the Functional State of the Brain: Guidelines]. Moscow, 2010. 21 p.
4. Fokin V.F., Ponomareva N.V. *Energeticheskaya fiziologiya mozga* [Energy Physiology of the Brain]. Moscow, 2003. 288 p.
5. Boravova A.I., Galkina N.S., Fokin V.F. Osobennosti UPP golovnoy mozga pri podrostkovoy agressii [Characteristics of DC Potentials in Adolescent Aggression]. *Asimetriya*, 2011, no. 4, pp. 39–50.
6. Speckmann E.-J., Elger C.E., Gorji A. Neurophysiological Basis of EEG and DC Potentials. *Niedermeyer's Electroencephalography*. Ed. by D.L. Schomer, F. Lopes da Silva. 6th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2011, pp. 17–31.
7. Nekhoroshkova A.N. *Psikhofiziologicheskiy analiz zritel'no-motornoy deyatel'nosti u detey s vysokoy trevozhnost'yu: dis. ... kand. biol. nauk* [Psychophysiological Analysis of the Visuomotor Activity in Children with High Level of Anxiety: Cand. Biol. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2011. 118 p.
8. Nekhoroshkova A.N., Gribanov A.V., Dzhos Yu.S. Problema trevozhnosti kak slozhnogo psikhofiziologicheskogo yavleniya [Problem of Anxiety as a Difficult Psychophysiological Phenomenon]. *Ekologiya cheloveka*, 2014, no. 6, pp. 47–54.
9. Arakelyan A.S., Doletskiy A.N. Izmenenie urovnya postoyannogo bioelektricheskogo potentsiala mozga pri emotsional'nykh i fizicheskikh nagruzkakh [Changes in DC Level of the Brain at Emotional and Physical Stress]. *XXII s'ezd Fiziologicheskogo obshchestva imeni I.P. Pavlova: tez. dokl.* [The 22nd Congress of the Physiological Society named after I.P. Pavlov: Outline Reports]. Volgograd, 2013, p. 33.
10. Nekhoroshkova A.N., Gribanov A.V., Deputat I.S. Vzaimosvyaz' kachestvennykh parametrov intellektual'nykh i zritel'no-motornykh testov u trevozhnykh detey [Correlation of Quality Parameters of Intelligence and Visual-Motor Tests in Anxious Children]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2013, no. 1, pp. 46–54.
11. Machinskaya R.I., Krupskaya E.V. Sozrevanie regulatorynykh struktur mozga i organizatsiya vnimaniya u detey mladshogo shkol'nogo vozrasta [Maturation of Regulatory Brain Structures and Organization of Attention in Primary School Children]. *Kognitivnye issledovaniya: sb. nauch. tr.* [Cognitive Studies: Collected Papers]. Ed. by V.D. Solov'ev, T.V. Chernigovskaya. Iss. 2. Moscow, 2008, pp. 32–48.
12. Reznikova T.N., Terent'eva I.Yu., Kataeva G.V. Osobennosti metabolizma struktur golovnoy mozga pri osoznannoy i neosoznannoy trevoge [Metabolic Characteristics of Brain Structures During Conscious and Unconscious Anxiety]. *Fiziologiya cheloveka*, 2008, vol. 34, no. 5, pp. 5–12.

13. Kline J.P., Allen J.J., Schwartz G.E. Is Left Frontal Brain Activation in Defensiveness Gender Specific? *J. Abnorm. Psychol.*, 1998, vol. 107, pp. 149–153.

14. Bragina N.N., Dobrokhotova T.A. *Funktsional'nye asimmetrii cheloveka* [Functional Asymmetries in Humans]. Moscow, 1988. 240 p.

Nekhoroshkova Aleksandra Nikolaevna

Institute of Medical and Biological Research,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Gribanov Anatoly Vladimirovich

Institute of Medical and Biological Research,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

DISTRIBUTION OF DC POTENTIAL LEVEL IN PRIMARY SCHOOL CHILDREN WITH HIGH LEVEL OF ANXIETY

The article studied peculiarities of distribution of DC potential level in children with high level of anxiety. These characteristics can be objective psychophysiological markers of child anxiety. The study involved 105 children aged 8–10 years with normal (65 persons) and high (40 persons) levels of anxiety from comprehensive schools of Arkhangelsk city. The results indicate peculiarities of cerebral energy processes in children with high level of anxiety that can possibly be associated with greatly increased activity of the modulating system of the brain. The summary measures of DC potential level in anxious children are significantly higher than those in their peers with normal levels of anxiety. This rise is due to increased values of potentials in each of the recorded areas of the brain. The greatest increase in DC potential level was observed in the frontal and left temporal areas of the brain, which is caused by the active influence of anxiety in primary school age on the functional systems providing voluntary regulation of mental processes. In children with high level of anxiety we saw a violated principle of dome-shaped energy distribution: peak values of DC potential level were identified in the occipital lead, while there is practically no difference in energy expenditure between the central and occipital leads of the brain. Apparently, the distribution shift of DC potential level to the occipital area can be associated with increased functional activity of non-specific reticulo-limbic-cortical neural connections at high levels of anxiety.

Keywords: *children with high level of anxiety, distribution of DC potential level, energy state of the brain.*

Контактная информация:

Нехорошкова Александра Николаевна
адрес: 163045, г. Архангельск, проезд Бадигина, д. 3;
e-mail: a.nekhoroshkova@narfu.ru

Грибанов Анатолий Владимирович
адрес: 163045, г. Архангельск, проезд Бадигина, д. 3;
e-mail: a.gribanov@narfu.ru