

Площадь контакта подошвенной поверхности стопы с горизонтальной поверхностью увеличивается в интервале 8—9 лет на 15,9%, площадь правой стопы меньше площади левой у обоих полов [у мальчиков левая стопа — $(44,75 \pm 1,48)$ см², правая стопа — $(42,03 \pm 1,89)$ см²; у девочек левая стопа — $(43,34 \pm 2,82)$ см², правая стопа — $(42,18 \pm 2,82)$ см²], прирастая на 4,2 % между 12 и 13 годами, при этом площадь правой стопы меньше площади левой стопы у обоих полов [у мальчиков левая стопа — $(47,81 \pm 1,56)$ см², правая стопа — $(51,89 \pm 1,01)$ см²; у девочек левая стопа — $(45,36 \pm 2,02)$ см², правая стопа — $(47,31 \pm 1,96)$ см²].

Для детей с формирующимся долихоморфным телосложением характерны более выраженное отклонение I пальца, приведение V при замедлении возвышения продольного свода стопы, что может рассматриваться как переходный вариант от нормы к клинически диагностируемому плоскостопию [3].

Для детей с формирующимся брахиморфным телосложением характерна относительная задержка отклонения I пальца кнаружи и приведения V пальца (более выраженное для правой стопы), менее интенсивное отклонение пяточной кости кнаружи с возрастом и относительно более интенсивное формирование продольного свода стопы.

Основные варианты строения стопы, связанные с формирующимся соматотипом и полом ребенка,

могут быть выделены с 12-летнего возраста. Для мезоморфного типа характерно наиболее равномерное преодоление критического периода в возрасте 13—14 лет в формировании стопы и практическое отсутствие крайних вариантов строения стопы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение оригинального метода компьютерной планшетной плантографии позволяет существенно экономить время исследования, а также эргономично, с высокой точностью и информативностью, без экономических затрат определить состояние различных отделов стопы в разных возрастных группах при учете конституционального соматотипа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянова-Языкова Н. Ф. // Тезисы докладов VI конгресса международной ассоциации морфологов. — Казань, 2002. — С. 6.
2. Ахмедов Ш. М., Кобулова М. У. и др. // Материалы 6-го конгресса Международной ассоциации морфологии. — М., 2002. — Т. 121. — № 2—3. — С. 15.
3. Перепелкин А. И. Соматотипологические закономерности формирования стопы человека в постнатальном онтогенезе: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — Волгоград, 2009. — 53 с.
4. Hansen S. T. Jr. Functional reconstruction of the foot and ankle // Functional Reconstruction of the Foot and Ankle. — Lippincott Williams & Wilkins, 2000. — P. 318—322.
5. Johnson J. E., Cohen B. E., DiGiovanni B. F., et al. // Foot Ankle Int. — 2000. — Vol. 21, № 9. — P. 722—729.

А. Н. Долецкий, А. Е. Бусыгин, Д. А. Докучаев

Волгоградский государственный медицинский университет,
кафедра нормальной физиологии

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ОЦЕНКЕ ТЕКУЩЕГО ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 612.82

В статье рассмотрен статистический анализ характеристик биоэлектрической активности головного мозга. Проведена многофакторная оценка изменчивости данных с целью сокращения их количества параметров за счет удаления взаимосвязанных показателей. Выявлены наиболее информативные в оценке текущего эмоционального состояния показатели.

Ключевые слова: электроэнцефалография, факторный анализ, адаптация, моделирование эмоций.

A. N. Doletsky, A. E. Busygin, D. A. Dokuchaev

STATISTICAL STUDY OF INFORMATION CONTENT OF CEREBRAL BIOELECTRIC PARAMETERS IN EVALUATION OF CURRENT EMOTIONAL STATE

The article presents a statistical analysis of cerebral electrical activity characteristics. Multifactorial analyses lead to a reduction in the number of parameters due to elimination of related indicators. We identified the most informative parameters in assessment of the current emotional state indicators.

Key words: EEG, electroencephalography, factor analysis, adaptation, modeling of emotions.

При анализе функционального состояния органов и систем при электрофизиологических исследова-

ниях в качестве результата их количественной оценки используется множество показателей. Час-

то выявление психоэмоционального напряжения проводится по данным электроэнцефалографии (в системах психофизиологического мониторинга, адаптивного биоуправления с биологической обратной связью). Применение тех или иных показателей в большинстве случаев не регламентировано и определяется предпочтениями проводящего исследования специалиста [3, 6, 10]. В настоящее время применяется более 20 расчетных показателей, характеризующих биоэлектрическую активность головного мозга, в некоторой степени дублирующих друг друга и затрудняющих целостность интерпретации [5]. Также в настоящее время появились исследования, указывающие на неинформативность части используемых критериев как показателей эмоционального состояния [4, 7]. При этом в качестве альтернативы предлагаются методы анализа независимых компонент, топографического, энтропийного, фрактального анализа [2, 8, 9]. Общим для данных современных методов нелинейного анализа ЭЭГ является их высокая ресурсоемкость и необходимость накопления данных, что затрудняет использование новых методов в системах анализа в режиме реального времени. В связи с этим поиск критериев, адекватно оценивающих изменение эмоционального состояния обследуемого, однако не требующего регистрации большого объема данных, является актуальным.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Сокращение количества параметров оценки функционального состояния головного мозга за счет удаления взаимозависимых величин, а также выявление наиболее информативных в оценке психоэмоционального состояния показателей вышеуказанных систем с использованием моделей эмоционального стресса и релаксации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Группа обследуемых состояла из 900 молодых практически здоровых добровольцев обоего пола в возрасте 18—33 лет (средний возраст 21,5 год). Для оценки степени вариабельности исследуемых параметров моделировался континуум эмоциональных реакций, включавший в себя состояние покоя, состояние выраженного физиологического стресса (моделировалось в пробе с падением) и состояние снижения психоэмоционального напряжения (релаксации) у здоровых лиц молодого возраста. Релаксация достигалась путем прослушивания функциональной музыки. С помощью дисперсионного анализа, регрессионного анализа, методов параметрического и непараметрического анализа парных выборок осуществлялся отбор наиболее значимо менявшихся показателей биоэлектрической активности, гемодинамики и вегетативного статуса. Обработка и анализ данных проводились с использованием возможностей статистической обработки программного пакета LibreOffice (© The Document Foundation, 2000—2012),

а также статистического программного пакета «Statistica 6.0» (© StatSoft Inc., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе с целью нормирования вариабельности разноплановых показателей (амплитудных, частотных, авто- и кросскорреляционных) был проведен факторный анализ методом вращения главных компонент (варимакс). В соответствии с критерием Кайзера, в каждом случае были оставлены факторы с собственными значениями, большими единицы [1]. Из дальнейшей обработки исключались показатели, имевшие корреляцию низкой и средней силы с факторами, описывающими изменчивость показателей центральной нервной системы в состоянии физиологического покоя, а также парные показатели, имевшие высокую взаимную корреляцию.

Результаты корреляционного анализа спектральных, корреляционных, когерентных, энтропийных показателей энцефалограммы выявили наличие сильной корреляции между фрактальным индексом Херста и Альфа-индексом, между коэффициентами средней и полной кросскорреляции, а также между интервалом автокорреляции и доминирующей частотой биоэлектрической активности (по данным автокорреляционного анализа). Для последующей обработки использовался только первый показатель в каждой группе, как имеющий меньшую чувствительность к артефактам (в случае средних значений) и первичность по отношению к рассчитываемым на их основе показателям (в случае индекса Херста и интервалом автокорреляции).

Результаты факторного анализа спектральных, корреляционных, когерентных показателей энцефалограммы, представленные в табл., свидетельствуют о наличии 6 факторов. Наибольший вклад в общую вариабельность вносит амплитудный фактор, имеющий корреляции высокой силы со средней амплитудой тета-, альфа- и бета-активности. В меньшей степени межличностная вариабельность показателей в изучаемой выборке связана с частотным фактором, имеющим сильную отрицательную корреляцию со средней частотой авто- и кросскорреляции, а также с автокорреляционным (прямая зависимость от коэффициента и обратная — от интервала автокорреляции) и кросскорреляционным (прямая зависимость от коэффициента и обратная — от задержки кросскорреляции) факторами. Еще два фактора имеют высокую зависимость от результатов когерентного и фрактального анализа.

Также результаты факторного анализа отражают минимальный вклад в межличностную вариабельность в состоянии физиологического покоя средней амплитуды дельта-активности и доминирующей частоты когерентности. В связи с этим, данные параметры были исключены из дальнейшей обработки как имеющие наименьшую изменчивость.

Корреляции группы исследуемых показателей биоэлектрической активности головного мозга с результатами факторного анализа методом главных компонент (варимакс)

Показатели	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
Результаты фрактального (энтропийного) анализа						
Индекс Хёрста	-0,03	0,04	-0,14	-0,28	0,15	0,78
Индекс Дельта	0,04	-0,04	0,02	0,22	-0,11	0,71
Средняя амплитуда ритмов в частотных диапазонах						
Дельта	0,63	0,28	-0,60	-0,05	-0,01	0,03
Тета	0,87	0,27	0,01	0,01	0,01	-0,09
Альфа	0,76	0,22	0,31	0,00	0,17	0,10
Бета-1	0,91	-0,14	0,06	0,18	0,01	-0,04
Бета-2	0,82	-0,38	-0,12	0,10	0,02	0,15
Результаты автокорреляционного анализа						
Средняя частота	0,00	-0,93	0,05	0,07	0,03	-0,02
Интервал корреляции	-0,17	0,03	-0,90	-0,07	0,10	0,06
Коэффициент корреляции	0,14	0,43	0,74	-0,10	0,00	0,16
Результаты кросскорреляционного анализа						
Средняя частота	-0,07	-0,95	-0,14	-0,01	-0,08	0,04
Задержка	-0,07	0,07	0,24	0,19	-0,71	0,17
Коэффициент корреляции	0,08	0,13	0,20	0,29	0,81	0,21
Результаты когерентного анализа						
Средняя когерентность	0,01	-0,05	0,02	0,87	0,39	0,03
Доминирующая частота	0,12	0,00	-0,57	0,22	-0,06	0,32
Средняя частота	0,19	-0,06	-0,18	0,81	-0,30	-0,01

Полученные результаты, с одной стороны, демонстрируют относительную независимость амплитудно-мощностных, частотных, корреляционных и энтропийных показателей. С другой стороны, большое число полученных факторов не позволяет существенно сократить количество планируемых к управлению характеристик без учета реакции на психоэмоциональную нагрузку.

Проведенное на **втором этапе** моделирование эмоциональных реакций выявило, что показатели спектрального анализа ЭЭГ в континууме реакций «эмоциональный стресс – релаксация» достоверно различаются только по средней амплитуде высокочастотного бета-ритма (рис. 1). Увеличение мощности данного показателя перед падением свидетельствует о выраженном психоэмоциональном напряжении, а снижение его мощности на фоне прослушивания функциональной музыки — о релаксации. При этом средние мощности ритмов альфа-, тета-диапазонов и их соотношения изменялись только при моделировании психоэмоционального напряжения, но не отличались от исходных значений при моделировании релаксации.

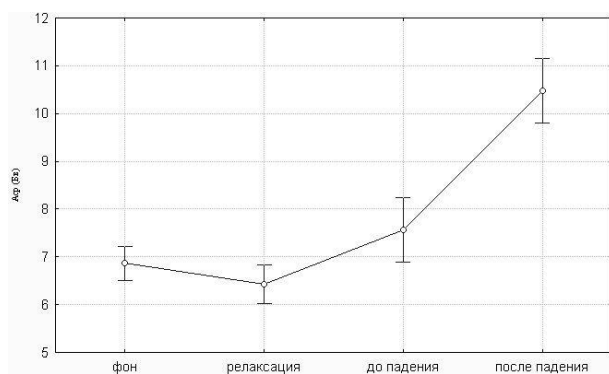


Рис. 1. Динамика средней амплитуды бета-2 ритма в континууме «стресс-релаксация»

Наряду с динамикой спектральных показателей, непараметрический критерий Вилкоксона также показывает достоверное снижение энтропийного показателя индекса Хёрста и коэффициента кросскорреляции в пробе с падением, что отражает снижение хаотизации, повышение упорядоченности в работе генераторов биоэлектрической активности при одновременном уменьшении взаимодействий между различными отделами головного мозга в состоянии психоэмоционального стресса (рис. 2).

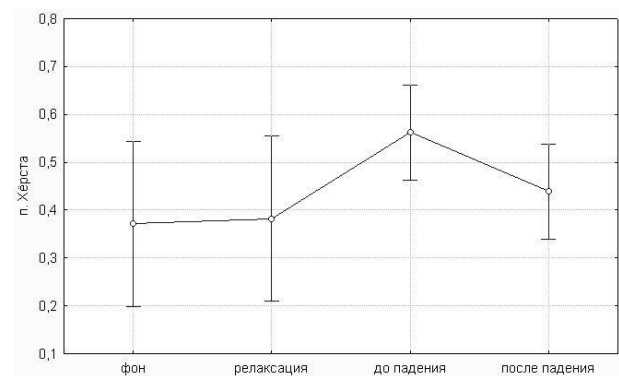


Рис. 2. Динамика фрактального индекса Хёрста в континууме «стресс-релаксация»

С целью проверки гипотезы о более выраженном влиянии на биоэлектрическую активность мозга изменения функционального состояния, чем локализации электрода, с которого производится регистрация ЭЭГ, выполнялся дисперсионный двухфакторный анализ амплитуды ритмов бета-диапазона, зарегистрированных в 19 стандартных монополярных отведениях. Результаты анализа показывают большую значимость «фактора состояния», чем «фактора отведений». Таким образом, можно использовать предложенные средние значения амплитуды ритма бета-2 диапазона для

оценки эмоционального состояния в континууме «стресс — релаксация» с последующим их применением в качестве управляемого параметра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенного факторного анализа удалось сократить количество показателей биоэлектрической активности, обладающих относительной автономностью. Вместе с тем большое число полученных факторов не позволяет существенно сократить количество планируемых к управлению характеристик без учета реакции на психоэмоциональную нагрузку. Последующее исключение высокозависимых показателей и анализ динамики показателей, входящих в различные факторы, в континууме реакций «стресс — релаксация» позволили нам выбрать в качестве параметров управления биоэлектрической активностью головного мозга показатели средней амплитуды бета-2 диапазона. Выбранный показатель, безусловно, не может оценить все многообразие состояний биоэлектрической активности головного мозга, однако его использование для снижения эмоционального напряжения в качестве управляемого параметра в системах адаптивного биоуправления с БОС, в системах психофизиологического мониторинга будет наиболее целесообразно, поскольку в отличие от методов анализа топографического распределения биоэлектрической активности не требует регистрации ЭЭГ в большом количестве отведений. В отличие от нелинейного анализа методами независимых компонент, энтропийного и вейвлет анализа применение рекомендуемого показателя не требует длительного накопления данных и может быть использовано в работающих в режиме «реального времени» аналитических системах.

Анализ динамики нейрофизиологических показателей в континууме реакций «стресс — релаксация» позволил рекомендовать в качестве параметра управления биоэлектрической активностью головного мозга показатель средней амплитуды бета-2 диапазона. Использование выбранного показателя для мониторинга эмоционального напряжения наиболее целесообразно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровиков В. П. *Statistica*. Искусство анализа данных на компьютере. — СПб.: Питер, 2003. — 688 с.
2. Голуб В. А., Козлова И. Н., Сереженко Н. П. и др. // Вестник ВГУ, Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2007. — Т. 2, № 2. — С. 61—64.
3. Киров В. Н., Асланян Е. В. // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. — 2005. — Т. 55, № 6. — С. 768—776.
4. Коренек В. В., Павлов С. В., Рева Н. В. и др. // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. — 2010. — Т. 30, № 4. — С. 124—131.
5. Кулаичев А. П. // Журнал Высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. — 1997. — Т. 47, № 5. — С. 918—926.
6. Марагей Р. А., Потулова Л. А. // Биомедицинская радиоэлектроника. — 2006. — № 8—9. — С. 36—44.
7. Меклер А. А. // Тезисы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «Психология XXI века» / Под ред. ред. В. Б. Чесноков. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. — С. 86—87.
8. Меклер А. А. // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. — 2004. — Т. 90, № 8. — С. 77.
9. Cao H. Improvement of EEG based brain computer interface by application of tripolar electrodes and independent component analysis. United States — Louisiana: Louisiana Tech University, 2009. — 121 p.
10. Sokhadze T. M., Cannon R. L., Trudeau D. L. // Applied psychophysiology and biofeedback. — 2008. — Т. 33, № 1. — P. 1—28.