

UDC 612.82

**Statistical Research of Informative Characteristic of Brain, Vegetative Nervous System, Systemic and Cerebral Hemodynamics Bioelectrical Activity, Assessing the Current Emotional State**

<sup>1</sup> Alexey N. Doletsky

<sup>2</sup> Arseniy E. Busygin

<sup>3</sup> Denis N. Dokuchaev

<sup>4</sup> Anna S. Fokina

<sup>1</sup> Volgograd State Medical University, Russia  
Volgograd, 400131, Pavshikh Bortsov Sq., 1

PhD

E-mail: andoletsky@gmail.com

<sup>2</sup> Volgograd State Medical University, Russia  
Volgograd, 400131, Pavshikh Bortsov Sq., 1

Student

E-mail: septem7@rambler.ru

<sup>3</sup> Volgograd State Medical University, Russia  
Volgograd, 400131, Pavshikh Bortsov Sq., 1

Student

E-mail: user1863@mail.ru

<sup>4</sup> Volgograd State Medical University, Russia  
Volgograd, 400131, Pavshikh Bortsov Sq., 1

PhD

E-mail: fasak@mail.ru

**Abstract.** The article presents the statistical analysis of the brain bioelectrical activity, heart rate variability and system and cerebral hemodynamics characteristics. The multifactorial analysis of data variability was made in order to reduce parameters quantity through the removal of interrelated indicators. The most informative indicators, assessing the current emotional state were defined.

**Keywords:** Electroencephalography; vegetative indicators; cerebral hemodynamic; factor analysis; adaptation; modeling of emotions.

**Введение.** При анализе функционального состояния органов и систем для количественной оценки результатов при электрофизиологических исследований используется множество показателей. Применение тех или иных показателей в большинстве случаев не регламентировано и определяется предпочтениями проводящего исследования специалиста [1–3]. Анализ литературных данных показал, что наиболее часто для регуляции психоэмоционального состояния с помощью адаптивного биоуправления используются характеристики биоэлектрической активности головного мозга, вегетативного статуса и параметры гемодинамики [4–7]. Для оценки параметров, характеризующих деятельность вышеназванных систем, применяется более 50 расчётных значений биоэлектрической активности головного мозга, вегетативного тонуса, системного и церебрального кровообращения и сосудистого тонуса, в некоторой степени дублирующих друг друга и затрудняющих целостность интерпретации [8, 9]. Также в настоящее время появились исследования, указывающие на неинформативность части используемых критериев как показателей эмоционального состояния и интеллектуальной активности [2, 10, 11].

**Целью** работы стало сокращение количества параметров оценки функционального состояния головного мозга, вегетативной нервной системы, системной и церебральной гемодинамики за счет удаления взаимозависимых величин, а так же выявление наиболее информативных в оценке психоэмоционального состояния показателей вышеуказанных систем с использованием моделей эмоционального стресса и релаксации.

### Материалы и методы исследования.

Группы обследуемых состояли из 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.

**Статистическая обработка.** 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 исследований.

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 [12]. Из дальнейшей обработки исключались показатели, имевшие корреляцию низкой и средней силы с факторами, описывающими изменчивость показателей центральной, вегетативной нервной систем и сердечно-сосудистой системы в состоянии физиологического покоя.

Результаты факторного анализа спектральных, корреляционных, когерентных показателей энцефалограммы, представленные в таблице 1, 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.

Таблица 1

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

	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
Результаты фрактального (энтропийного) анализа						
индекс Херста	-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

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.

С целью оценки вегетативного тонуса были выбраны наиболее информативные показатели вариационной кардиоинтервалометрии и спектрального анализа вариабельности сердечного ритма. Результаты факторного анализа вариабельности сердечного ритма позволяют выделить шесть групп показателей, объединяющих зависимые от степени синхронизации (индекс напряжения регуляторных систем - ИН, амплитуда моды, встречаемость наиболее типичного класса длительностей сердечного цикла - АМо), дисперсии ЧСС, спектрального анализа (показатели сверхнизкого, низкочастотного и высокочастотного компонентов спектра - VLF, LF, HF) и комплексные расчетные критерии (LF/HF, индекс централизации - IC).

Результаты факторного анализа показателей системной гемодинамики, зарегистрированных с помощью реокардиографии и тонометрии, позволили выделить три фактора, условно разделяемые на объемный показатель работы сердца (высокая прямая корреляция с показателями сердечного выброса; обратная — с показателем периферического сосудистого сопротивления), временной критерий (ЧСС, время изгнания крови из сердца) и показатель тонуса сосудов (среднее диастолическое давление).

В качестве расчетных показателей церебральной гемодинамики, помимо общепринятых критериев, были использованы разработанные нами [11] формулы количественного описания каждого параметра мозгового кровотока с помощью коэффициентов гармонического анализа.

Анализ корреляций параметров мозговой гемодинамики и полученных в результате факторного анализа главных компонент показал, что церебральный кровоток контролируется, по преимуществу, двумя факторами. Первый из них — центральный — включал показатели тонуса крупных артерий и величины пульсового кровенаполнения, то есть компонентов, прямо или опосредованно подчиненных центральному механизмам сосудодвигательного контроля. Второй — региональный фактор - включал параметры, характеризующие выраженность тонуса артерий мелкого калибра и вен, а также венозный отток. Подобные результаты были получены на основании анализа реоэнцефалограмм с помощью «опорных» точек [13]. Это свидетельствует о сопоставимости результатов автоматизированного гармонического и выполняемого вручную «стандартного» двухкомпонентного анализа реограмм по «опорным» точкам. Однако последний метод не приспособлен для работы в режиме реального времени [13–15].

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.

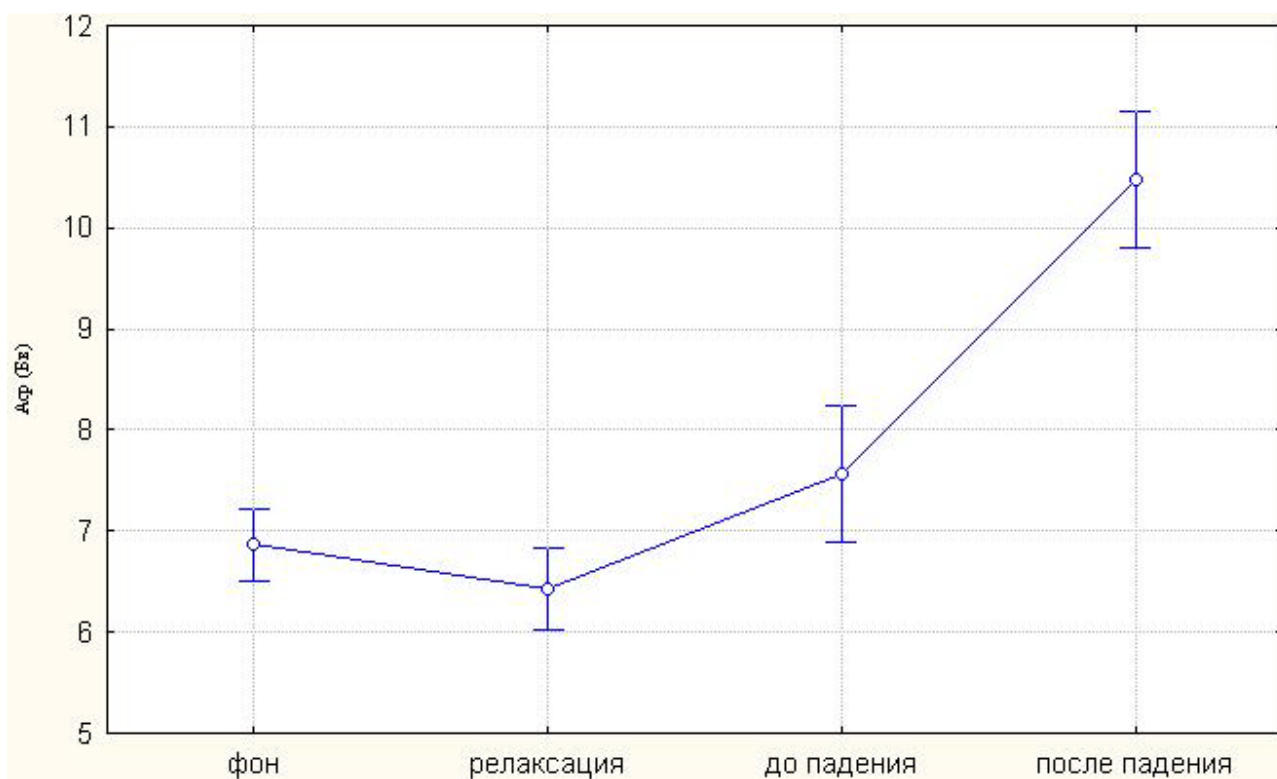


Рис. 1. Динамика средней амплитуды бета-2 ритма в континууме «стресс – релаксация»

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.

При оценке динамики показателей, характеризующих вегетативный тонус в предложенном континууме состояний, наиболее существенно изменялись показатели спектрального анализа HF, LF/HF и интегральный индекс напряжения (ИН). Высокочастотный компонент спектра (HF) в покое составил  $241,9 \pm 21,3 \text{ мс}^2$ ; в предстартовом состоянии он увеличился на 41,3%, а после падения – на 62,9% по сравнению с покоем (составил  $556,6 \pm 186,4 \text{ мс}^2$ ). Показатель соотношения низкочастотного компонента спектра к высокочастотному (LF/HF) в предстартовом состоянии увеличился до  $4,3 \pm 0,26$  (на 102,3% больше), а после падения уменьшился до  $0,8 \pm 0,09 \text{ мс}^2$  (на 62,8% меньше, чем в предстарте). Индекс напряжения регуляторных систем в покое составил  $154,9 \pm 9,63$  усл.ед.; перед падением данный показатель значительно возрастал по сравнению с исходным состоянием – до  $187,0 \pm 23,3$  усл.ед., после падения он снижался до  $92,9 \pm 17,05$  усл.ед. Полученные изменения спектральных показателей при моделировании стрессовой ситуации демонстрируют усиление активности симпатического отдела ВНС. В пробе с релаксацией достоверно изменялось соотношение ИН, уменьшившись до  $111,9 \pm 7,7\%$  (на 27,8%). Изменение показателей спектрального анализа сердечного ритма было недостоверно и заключалось в повышении HF на 6,1, а LF/HF – уменьшение на 8,7% соответственно. Данные результаты позволили рекомендовать к использованию для оценки состояния психоэмоционального напряжения критерий ИН, отражающий как увеличение активности симпатического отдела ВНС при моделировании стрессовой ситуации, так и снижение данной активности при моделировании релаксации.

Между показателями системной гемодинамики в предложенном континууме психоэмоциональных состояний достоверные различия отсутствовали, что не позволяет

рекомендовать данную группу характеристик для оценки выраженности эмоциональных реакций.

Изменения церебральной гемодинамики в пробе с падением по данным реоэнцефалографии включали снижение тонуса артерий крупного калибра при релаксации и увеличение — после падения (рис. 2).

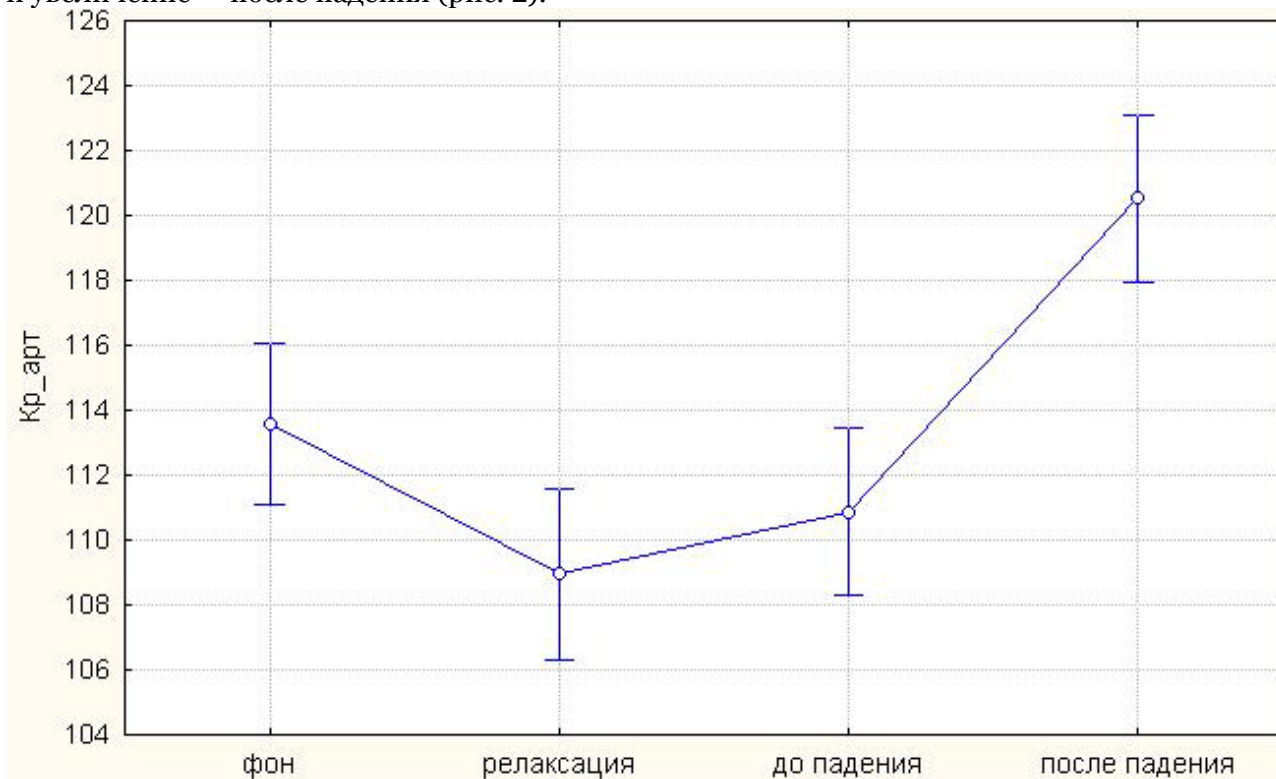


Рис. 2. Изменение тонуса церебральных сосудов крупного калибра в пробе с падением по данным реоэнцефалографии

Таким образом, данный показатель является наиболее чувствительным в предложенном континууме психоэмоциональных состояний. Вместе с тем, изменение тонуса мелких артерий носило несколько отличный характер. Достоверно увеличиваясь перед пробой с падением, данный показатель продолжал увеличиваться после падения (незначимо), свидетельствуя о более длительной реакции на эмоциональный стресс со стороны резистивных сосудов, обеспечивающих внутримозговое перераспределение кровенаполнения.

#### **Обсуждение.**

Таким образом, в результате проведенного факторного анализа удалось сократить количество показателей биоэлектрической активности, вегетативного тонуса и гемодинамики, 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 высокорезистивных показателей, группировка результатов обследований в факторы и анализ динамики показателей, входящих в различные факторы, в континууме реакций «стресс-релаксация» позволили нам выбрать в качестве параметров управления биоэлектрической активностью головного мозга, активностью вегетативной нервной системы и церебрального сосудистого тонуса показатели средней амплитуды бета-2 диапазона (Аср бета-2), индекс напряжения (ИН) и тонус артерий крупного калибра (Kr\_арт) соответственно. Выбранные показатели, безусловно, не могли оценить все многообразие состояний соответствующих систем, однако их использование для снижения эмоционального напряжения в качестве управляемых параметров будет наиболее целесообразно.

**Выводы:**

Выбраны критерии, наиболее полно описывающие изменение уровня активации центральной нервной системы, variability сердечного ритма, центральной и церебральной гемодинамики при стрессе и релаксации. Для ЭЭГ это средняя амплитуда высокочастотного бета-ритма. Для оценки вегетативного тонуса наиболее показательными оказались показатели спектрального анализа HF, LF/HF и интегральный показатель «индекс напряжения». Критерием, наиболее полно описывающим изменения тонуса церебральных артерий, явился тонус церебральных артерий крупного калибра. Данные параметры можно использовать для экспресс-диагностики психоэмоционального состояния человека.

**Примечания:**

1. Кирой В.Н. с соавт. Электрографические корреляты реальных и мысленных движений: спектральный анализ // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2010. т. 60, № 5. С. 525–533.

2. Кулаичев А.П. Статистическое исследование диагностической информативности показателей variability сердечного ритма // Функциональная диагностика. 2012. т. 36, № 1. С. 56–64.

3. Sokhadze T.M., Cannon R.L. EEG biofeedback as a treatment for substance use disorders: review, rating of efficacy, and recommendations for further research // Biofeedback. 2008. P. 33:1–28.

4. Федотчев А.И. Стресс, его последствия для человека и современные нелекарственные подходы к их устранению // Успехи физиологических наук. 2009. т. 40, № 1. С. 77–91.

5. Пухняк Д.В. с соавт. Динамика параметров сердечно-дыхательного синхронизма и variability ритма сердца у студенток при экзаменационном стрессе // Кубанский научный медицинский вестник. 2009. № 9. С. 110–115.

6. Димитриев Д.А. с соавт. Влияние экзаменационного стресса и психоэмоциональных особенностей на уровень артериального давления и регуляцию сердечного ритма у студенток // Физиология человека. 2008. т. 34, № 5. С. 89–96.

7. Fehring R. Effects of biofeedback-aided relaxation on the psychological stress symptoms of college students // Nursing Research. 2010. Vol. 32, № 6. P. 362.

8. Кирой В.Н., Асланян Е.В. Общие закономерности формирования состояния монотонии // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2005. т. 55, № 6. С. 768–776.

9. Кулаичев А.П. Об информативности когерентного анализа в исследованиях ЭЭГ // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2009. т. 59, № 6. С. 757–767.

10. Анодина-Андреевская Е.М. с соавт. Перспективные подходы к анализу информативности физиологических сигналов и медицинских изображений человека при интеллектуальной деятельности // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. т. 54, № 7. С. 27–34.

11. Покровский В.М. с соавт. Оптимизация подходов количественной оценки стрессоустойчивости студенток // Кубанский научный медицинский вестник. 2009. № 3. С. 100–106.

12. Боровиков В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер, 2003. 688 с.

13. Долецкий А.Н. Использование гармонического анализа для оценки формы реоэнцефалограмм // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 1. С. 73–74.

14. Шток В.Н., Ронкин М.А., Анзимиров В.Л. Дополнительные подходы к классификации типа и степени нарушения тонуса краниocereбральных сосудов // Ж-л неврологии и психиатрии им. Корсакова. 1996. № 1. С. 79–82.

15. Кузнецов В.А. Гемодинамические критерии пограничных состояний мозгового кровотока у терапевтических больных // Бюллетень Сибирского отделения РАМН. 1999. т. 91, № 1. С. 99–103.

УДК 612.82

**Статистическое исследование информативности характеристик биоэлектрической активности головного мозга, вегетативной нервной системы, системной и церебральной гемодинамики в оценке в оценке текущего эмоционального состояния**

<sup>1</sup> Алексей Николаевич Долецкий

<sup>2</sup> Арсений Евгеньевич Бусыгин

<sup>3</sup> Денис Александрович Докучаев

<sup>4</sup> Анна Сергеевна Фокина

<sup>1</sup> Волгоградский государственный медицинский университет, Россия

Кандидат медицинских наук

E-mail: andoletsky@gmail.com

<sup>2</sup> Волгоградский государственный медицинский университет, Россия

Студент

E-mail: septem7@rambler.ru

<sup>3</sup> Волгоградский государственный медицинский университет, Россия

Студент

E-mail: user1863@mail.ru

<sup>4</sup> Волгоградский государственный медицинский университет, Россия

Кандидат медицинских наук

E-mail: fasak@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрен статистический анализ характеристик биоэлектрической активности головного мозга, variability сердечного ритма, системной и церебральной гемодинамики. 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; вегетативные показатели; церебральная гемодинамика; факторный анализ; адаптация; моделирование эмоций.