

УДК 612.825.4-073.97-71:796.071.2:612.172.2

Еремеев С. И., Еремеева О. В.  
Eremeev S. I., Eremeeva O. V.

**ОСОБЕННОСТИ АСИММЕТРИИ  
 $\alpha$ -АКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ  
В ЛОБНЫХ ОТВЕДЕНИЯХ СПОРТСМЕНОВ И СТУДЕНТОВ  
С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ МОДУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

**FRONTAL LOBE EEG ALPHA ASYMMETRY FEATURES  
IN ATHLETES AND STUDENTS  
WITH VARIOUS TYPES OF HEART RHYTHM MODULATION**

Изучены асимметрия средней спектральной мощности  $\alpha$ -активности электроэнцефалограммы в отведениях F3 и F4 и особенности взаимоотношений уровней относительной спектральной мощности variability сердечного ритма в диапазоне очень низкой, низкой и высокой частоты, характеризующие тип модуляции сердечного ритма. В исследование были включены 134 спортсмена высокой квалификации в возрасте 18–24 лет и 20 студентов медицинской академии в возрасте 18–20 лет. Установлена неоднородность асимметрии фронтальной  $\alpha$ -активности электроэнцефалограммы, связанная с типом модуляции сердечного ритма. Левополушарная асимметрия  $\alpha$ -активности была связана с доминированием мощности спектра в диапазоне низкой частоты variability сердечного ритма. Эта взаимосвязь была выражена сильнее в группе спортсменов с сосудистым типом модуляции сердечного ритма.

The asymmetry of the average alpha spectral power in EEG F3 and F4 signals, and the relationship between the relative spectral power and the heart rate variability have been studied. The cardiac rate modulation of is characterized by the relative spectral power in the range of very low, low and high frequencies. The study has covers 134 top athletes, 18–24 years old, and 20 medical Academy students, 18–20 years old. It has been found that the heterogeneity of EEG frontal alpha asymmetry is associated with the heart rate modulation type. The dominance of the left hemisphere alpha signal is associated with the dominance of the power spectrum in the low frequency range of the heart rate variability. This relationship is more pronounced in athletes with cardiovascular type of heart rate modulation.

*Ключевые слова:* электроэнцефалограмма,  $\alpha$ -ритм, асимметрия, variability ритма сердца, спортсмены, студенты.

*Keywords:* electroencephalogram,  $\alpha$ -rhythm, asymmetries, heart rate variability, athletes, students.

Современные тенденции развития диагностических технологий, интегративные процессы в медицине проявляются разработкой и внедрением в практику информационных технологий, основанных на анализе медленных волновых процессов гемодинамики [6]. Получила распространение теоретическая концепция трехфакторной модуляции ритма сердца [1], описывающая взаимодействие сердечного ритма с дыхательным, сосудистым и метаболическими модуляторами. Разработаны и получили распространение типологии модуляции сердечного ритма, учитывающие влияние компонента variability очень низкой частоты в фазовом пространстве [6], в пространстве параметров и в ранговой шкале [7], в пространстве параметров и в шкале интервалов [8]. Особое состояние модуляции ритма сердца в пространстве параметров и в шкале интервалов, когда доли трех модуляторов в variability ритма сердца соответствуют среднему уровню, было предложено рассматривать как эгали-

тарный тип модуляции [2]. Показано наличие определенной связи между пластичностью нейродинамических процессов мозга и характером реакции сердечно-сосудистой системы [5].

Установлено устойчивое разнообразие привычной двигательной активности и взаимосвязь высокого уровня двигательной активности с экономичностью реакций сердечно-сосудистой системы [3]. Структурный след долговременной фенотипической адаптации сочетается с формированием функциональных систем, образованием новых временных межсистемных и внутрисистемных взаимодействий, нарушение которых рассматривается как один из маркеров состояния незавершенной адаптации [4].

Оценка нейровисцеральной интеграции, исследования синхронной активности центральной и вегетативной нервной систем интенсивно проводятся в последние годы [11]. Отмечена взаимосвязь низкой активности префронтальной коры и низкой парасимпатической активности, проявляющейся сниженным уровнем variability сердечного ритма [10].

Вместе с тем детализация особенностей нейровисцеральной интеграции, связанных с особенностями адаптации к двигательной активности еще далека от завершения.

**Целью** исследования было изучение особенностей взаимосвязи типа модуляции сердечного ритма и коэффициента асимметрии средней спектральной мощности  $\alpha$ -активности электроэнцефалограммы в отведениях F3A1-F4A2 у спортсменов высокой квалификации.

**Материалы и методы исследования.** Регистрация электрокардиограммы и variability сердечного ритма (BCP) проводилась при помощи электрокардиографа «Полиспектр-8EX», программного пакета «Поли-Спектр Ритм» (Нейрософт, Россия). Запись ритмограммы сердца проводили по протоколу коротких записей (в течение 5 минут).

Регистрация биоэлектрической активности мозга проводилась при помощи 21-канального электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5» (Нейрософт, Россия) по стандартной методике. В качестве референта (А) использовались отдельные электроды на мочках ушей. Постоянная времени составляла 0,3 секунды. Полоса пропускания по высоким частотам составляла 30 Гц. 19 электродов располагались по международной схеме 10–20. Запись ЭЭГ проводилась в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами (фоновая ЭЭГ) и с открытыми глазами.

Межполушарную асимметрию определяли по формуле  $A = [(R - L)/(R + L)]100$ , где  $R$  и  $L$  представляет собой среднюю мощность спектра  $\alpha$ -активности в отведениях F4A2 и F3A1 соответственно [9].

Статистический анализ данных включал графический анализ распределения, показатели центральной тенденции, меры рассеивания, ранговый дифференциальный анализ Краскелла – Уоллиса, ранговую корреляцию Спирмена.

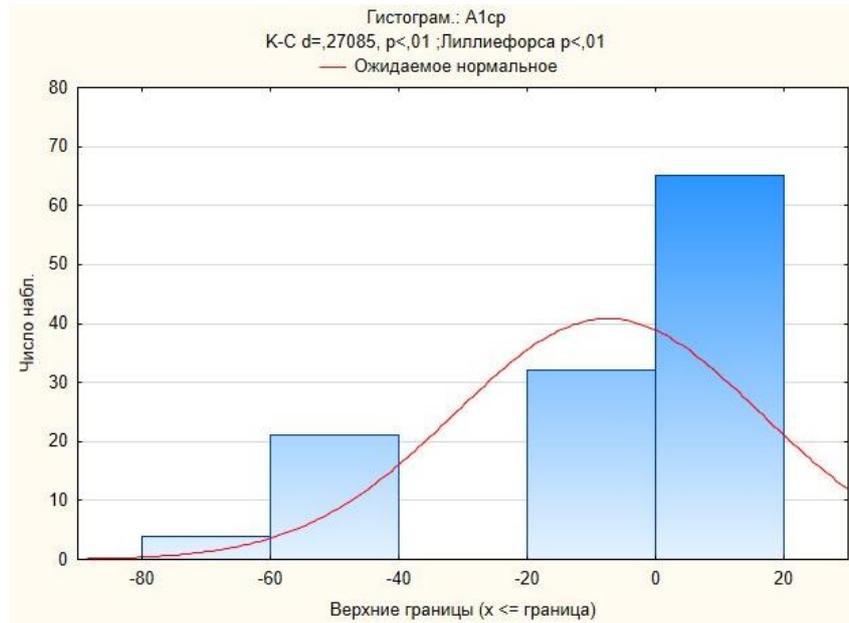
**Результаты исследования.** В исследование в открытом временном режиме в период с 2012 по 2015 г. были включены 134 спортсмена из генеральной совокупности – стратифицированной случайной выборки спортсменов, соответствовавших критериям включения. Среди них 83 мужчины (61,9 %), 51 женщина (38,1 %), в возрасте 18–24 лет, средний возраст составил  $20,5 \pm 1,5$  года. Средняя длительность занятия спортом составила  $10,9 \pm 2,5$  года.

В период декабрь-январь в исследование были включены 20 студентов медицинской академии, давших информированное согласие на участие в исследовании, обоего пола, 9 женщин, 11 мужчин, средний возраст  $19,0 \pm 1,1$  лет.

Среди спортсменов эгалитарный тип модуляции сердечного ритма был у 50 участников, метаболический тип – у 33 участников, сосудистый тип – у 28 и дыхательный – у 23 участников.

Среди студентов эгалитарный тип модуляции сердечного ритма был у 10 участников, метаболический тип – у 3 участников, сосудистый тип – у 5 и дыхательный – у 2 участников.

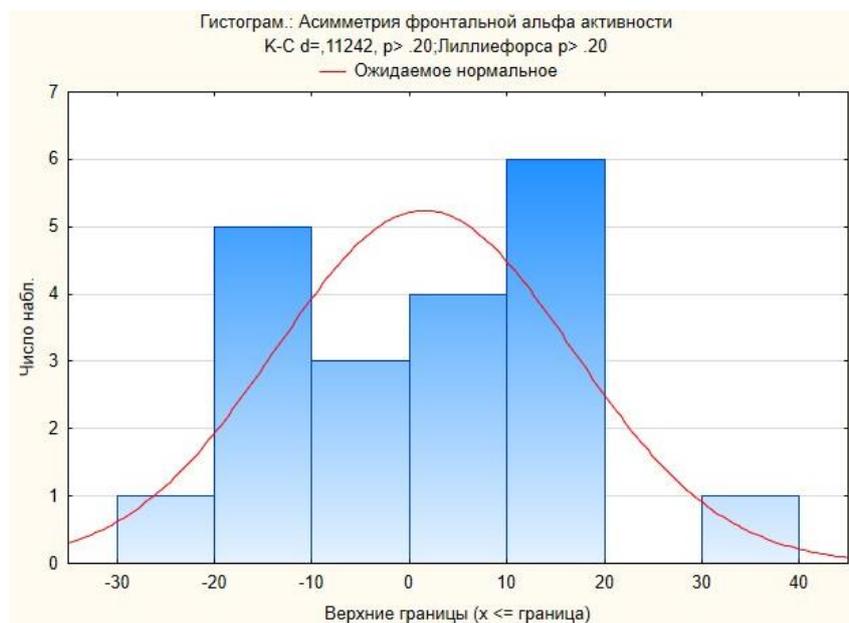
Коэффициент асимметрии средней спектральной мощности  $\alpha$ -активности электроэнцефалограммы в отведениях F3A1-F4A2 у спортсменов высокой квалификации имел распределение, отличавшееся от нормального (рис. 1). Выборка разделилась на два неравного подмножества с модами в диапазоне от 0 до +10 % и от –50 до –40 %.



**Рис. 1. Распределение асимметрии спектральной мощности  $\alpha$ -активности в отведениях F3A1-F4A2 ЭЭГ обследованных спортсменов**

Коэффициент асимметрии средней спектральной мощности  $\alpha$ -активности в обследованной выборке спортсменов составил в среднем  $-7,3 \pm 23,5$ ; значение медианы составило 0,7; нижний квартиль был  $-10,2$ ; верхний квартиль был 8,0.

Коэффициент асимметрии средней спектральной мощности  $\alpha$ -активности электроэнцефалограммы в отведениях F3A1-F4A2 у студентов также имел распределение, отличавшееся от нормального (рис. 2). Выборка также разделилась на два подмножества, но, в отличие от спортсменов, моды лежали в диапазоне от  $-20$  до  $-10$  % и от  $+10$  до  $+20$  %. В этом асимметрия фронтальной  $\alpha$ -активности студентов походила на таковую у большей части спортсменов высокой квалификации. В то же время среди студентов не были найдены случаи с выраженным преобладанием  $\alpha$ -активности в левых лобных отведениях и коэффициентом асимметрии, лежащим в диапазоне от  $-80$  до  $-40$  %.



**Рис. 2. Распределение асимметрии спектральной мощности  $\alpha$ -активности в отведениях F3A1-F4A2 ЭЭГ обследованных студентов**

В группе студентов показатель межполушарной фронтальной асимметрии  $\alpha$ -активности в отведениях F4A2 и F3A1 составил  $1,5 \pm 15,2$  %. Медиана составляла 1,4; нижний квартиль равнялся  $-12,8$ ; верхний квартиль  $+12,9$ . Распределение отличалось бимодальностью. Одна мода была в диапазоне от  $+10$  до  $+20$  – 6 наблюдений из 20. Другая мода была в диапазоне от  $-20$  до  $-10$ , 5 наблюдений из 20.

В подгруппе спортсменов с эгалитарным типом модуляции сердечного ритма коэффициент асимметрии составил  $8,2 \pm 8,3$ ; в подгруппе с метаболическим типом  $0,2 \pm 2,9$ ; в подгруппе с сосудистым типом  $-50,3 \pm 7,9$ ; в подгруппе с дыхательным типом  $0,6 \pm 23,9$ . Сравнения множественных межгрупповых различий методом рангового дифференциального анализа Краскелла – Уоллиса показали достоверные различия ( $p < 0,001$ ) коэффициента асимметрии между представителями спортсменов с различными типами модуляции сердечного ритма, за исключением сочетания дыхательной и метаболической подгрупп.

У спортсменов с эгалитарным типом модуляции сердечного ритма наблюдалось наибольшее значение медианы коэффициента асимметрии, что свидетельствует о преобладании мощности спектра ЭЭГ в диапазоне  $\alpha$ -активности в правой лобной доле (F4A2). Вместе с тем в этой группе отмечался наибольший вариационный размах между отдельными представителями, минимум  $-16,5$ ; максимум  $17,8$ .

У спортсменов с метаболическим и с дыхательным типом модуляции сердечного ритма значение медианы коэффициента асимметрии лежало в диапазоне  $0,5-1,7$ , что свидетельствует о симметричном распределении мощности спектра ЭЭГ в диапазоне  $\alpha$ -активности в правой лобной доле (F4A2) и в левой лобной доле (F3A1).

Был обнаружен особенный уровень коэффициента асимметрии фронтальной  $\alpha$ -активности ЭЭГ в подгруппе спортсменов с сосудистым типом модуляции ритма сердца. Медиана составила  $-49,1$ . Значение минимума было  $-66,6$ . Значение максимума составило  $-37,3$ .

Была проанализирована зависимость коэффициента асимметрии фронтальной  $\alpha$ -активности от типа модуляции сердечного ритма. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил у спортсменов  $0,61$ , что рассматривается как связь средней силы и  $-0,21$  у студентов, что говорит о слабой связи параметров.

**Заключение.** Установлена взаимосвязь асимметрии средней мощности спектра ЭЭГ в диапазоне  $\alpha$ -активности в лобных долях головного мозга и типа модуляции сердечного ритма. Различия коэффициента асимметрии мощности спектра  $\alpha$ -активности у спортсменов высокой квалификации, имевших эгалитарный тип модуляции сердечного ритма были достоверны ( $p < 0,001$ ) с показателями у спортсменов с метаболическим, сосудистым и дыхательным типом модуляции. Различия коэффициента асимметрии у спортсменов, имевших метаболический тип модуляции сердечного ритма, были достоверны ( $p < 0,001$ ) с показателями у спортсменов с сосудистым и с эгалитарным, но не с дыхательным типом модуляции.

Коэффициент асимметрии у спортсменов с сосудистым типом модуляции сердечного ритма достоверно ( $p < 0,001$ ) отличался от коэффициентов асимметрии  $\alpha$ -активности во фронтальных долях у спортсменов с эгалитарным, метаболическим и дыхательным типами модуляции. В этой подгруппе спортсменов был найден наименьший уровень коэффициента асимметрии  $-50,3 \pm 7,9$ , что свидетельствует о выраженном преобладании  $\alpha$ -активности в лобной доле левого полушария.

В ходе исследования был установлен бимодальный тип распределения значений межполушарной асимметрии фронтальной  $\alpha$ -активности фоновой электроэнцефалограммы у испытуемых студентов в состоянии покоя. Моды асимметрии находились в диапазоне  $-20 - 10$  % и  $+10 +20$  %.

Существование особых вариантов взаимоотношений параметров электроэнцефалограммы и variability ритма сердца обосновывает диагностическую значимость определения фронтальной асимметрии средней мощности  $\alpha$ -активности ЭЭГ у спортсменов.

### Литература

1. Данилова Н. Н. Сердечный ритм и информационная нагрузка // Вестник Московского университета. 1995. № 4. С. 14–27. Сер. 14. Психология.
2. Еремеев С. И., Еремеева О. В., Кормилец В. С. Типология модуляции сердечного ритма на основе трехфакторной концепции и нормативные величины показателей спектрального анализа вариабельности ритма сердца в популяции здоровых людей в возрасте 17–27 лет // Медленные колебательные процессы в организме человека. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной динамики в физиологии и медицине : сб. науч. тр. VI Всерос. симп. и IV Школы-семинара с междунар. участием, 24–27 мая, НИИ КППЗ СО РАМН, Новокузнецк. Изд-во : КузГПА, 2011. С. 113–120.
3. Колпаков В. В., Беспалова Т. В., Брагин А. В., Бабакин Е. А., Лебедева К. А., Семенов В. В. Концепция типологической вариабельности физиологической индивидуальности. Сообщение I. Внутрипопуляционное разнообразие привычной двигательной активности человека и ее оценка // Физиология человека. 2008. Т. 34, № 4. С. 121–132.
4. Леутин В. П., Николаева Е. И., Фомина Е. В. Функциональная асимметрия мозга и незавершенная адаптация. Руководство по функциональной межполушарной асимметрии / ред. : В. Ф. Фокин, И. Н. Боголепова, Б. Гутник, В. И. Кобрин, В. В. Шульговский. М. : Научный мир, 2009. 836 с.
5. Сороко С. И., Трубачев В. В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб. : Политехника-сервис, 2010. 607 с.
6. Флейшман А. Н. Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики. Нелинейные феномены в клинической практике. 2-е изд., перераб. и доп. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. 194 с.
7. Хаспекова Н. Б. Диагностическая информативность мониторинга вариабельности ритма сердца // Вестник аритмологии. 2003. № 32. С. 15–23.
8. Шлык Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов : монография. Ижевск : Изд-во Удмуртский университет, 2009. 255 с.
9. Электроэнцефалографическое биоуправление (альфа-тета-тренинг) для лечения и реабилитации аддиктивных состояний (патологических пристрастий) и депрессий : метод. указания : Мин-во здравоохранения и социального развития РФ от 28.12. 2000 г. № 99/174. Новосибирск, 2000. 34 с.
10. Thayer J. F., Ahs F., Fredrikson M., Sollers J. J. 3rd, Wager T. D. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health // Neurosci. Biobehav. Rev. 2012. Vol. 36, № 2. P. 747–756.
11. Thayer J. F., Hansen A. L., Saus-Rose E., Johnsen B. H. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health // Ann. Behav. Med. 2009. Vol. 37, № 2. P. 141–153.