

## БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА В УСЛОВИЯХ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СТРЕССА

Л.Н. ФРИЦШЕ

*Харьковская медицинская академия последипломного образования*

**Проведен детальный анализ современных, преимущественно международных, источников, посвященных изучению биоэлектрической активности головного мозга в условиях эмоционального стресса.**

Изучение проблемы эмоционального стресса и механизмов индивидуальной устойчивости к стрессу при современном уровне научно-технического прогресса является особенно актуальным. Без сомнения, эмоциональный стресс — это общечеловеческая проблема, которая приобрела острую социальную направленность и перешла из узкомедицинской в разряд общесоциальных проблем [1–3].

Хронический стресс играет огромную роль как в жизни отдельного индивида, так и общества в целом. По данным ВОЗ, каждый четвертый человек на Земле имеет определенные проблемы с психическим здоровьем, большая часть которых обусловлена стрессами. Прогнозы ВОЗ неутешительны: к 2020 г. психические расстройства выйдут на второе место по частоте, уступая только сердечно-сосудистым заболеваниям [3].

Состояние стресса приводит к нарушениям процессов адаптации к окружающей среде, эмоциональным переживаниям. Прямым следствием такого перенапряжения являются невротические, сердечно-сосудистые, желудочно-кишечные, иммунодефицитные, гормональные, онкологические и прочие психосоматические заболевания. При этом отмечается резкое омоложение нейрогенных заболеваний. Установлено, что эмоциональный стресс — одна из основных причин увеличения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, внезапной сердечной смерти, инсультов. Духовный мир человека в условиях научно-технического прогресса становится все более ранимым, и это служит одной из причин развития наркомании, алкоголизма, психозов, самоубийств [1, 3].

Предлагались различные модели стресса ожидания для того, чтобы объяснить нейрофизиологические механизмы, лежащие в его основе, и нейроанатомический субстрат [4, 5]. Вопрос о структурах, реализующих эмоциональные реакции человека и высших млекопитающих, остается предметом острых дискуссий [6, 7]. Хотя современная физиология мозга накопила большое количество фактов о функциональной специализации структур мозга, относимых к категории эмоциогенных, полученные результаты до сих пор не удается привести в более или менее стройную систему, уточнив, какой именно вклад вносит то или иное образование в процесс формирования данного эмоционального состояния. Доказано, что нейроанатомический субстрат эмоций нельзя определить как четко обозначенную «эмоциональную» область голов-

ного мозга, это функциональная система, основанная на взаимодействии между различными структурами головного мозга [4, 5].

Лимбическая система мозга млекопитающих принимает участие в регуляции и координации ряда соматических и висцеральных функций. Она представляет собой многоуровневый и многокомпонентный комплекс образований, высшим отделом которого является лимбическая кора. Несмотря на большое число работ, посвященных этой системе мозга, до сих пор нет четкого представления о механизмах формирования и полифункциональных влияниях нейронов лимбической коры на деятельность внутренних органов. Остается много неясного и в вопросе о функциональном взаимодействии высших сенсорных центров с разными отделами лимбической коры. В литературе недостаточно данных о количественной и пространственно-топической организации связей лимбической коры и составляющих ее отдельных зон [7–9].

В последние годы основными методами исследования состояния эмоционального стресса стали позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), магнитный резонанс (fMRI) и электроэнцефалография (ЭЭГ). Однако при изучении состояний стресса при помощи ПЭТ имеется большая вероятность получить мышечные артефакты, искажающие результаты [8]. При записи энцефалограммы на программном уровне возможно удаление артефактных участков, что повышает значимость подобных исследований. Следует отметить, что энцефалографическими методами изучается функциональное состояние непосредственно нервной ткани.

Преимущественным до недавнего времени был только спектральный метод анализа ЭЭГ, который не позволяет объективно оценить системные взаимодействия в процессе формирования эмоциональных состояний. К сожалению, при изучении мозга человека энцефалографическими методами проблемой является то, что существует возможность исследовать активность не непосредственно эмоциогенных зон мозга, а их корковых проекций.

Авторы работы [10] оценивали взаимодействие между изменениями гемодинамики, свидетельствующими об изменении активности областей головного мозга, и электрическими процессами в головном мозге (мощностью ритмов на ЭЭГ) в состоянии покоя. Было показано, что активность различных областей мозга

связана с определенными частотами ЭЭГ и эта корреляция обусловлена не только позициями электродов, но и областями коры в целом. Была отмечена сильная отрицательная корреляция между мощностью  $\alpha$ -ритма (8–12 Гц) и показателями гемодинамики в латеральном фронтальном и париетальном участках коры, ответственных за состояние внимания. Положительная корреляция отмечалась в цингулярной и затылочной коре. Мощность  $\beta_2$ -ритма (17–23 Гц) позитивно коррелировала с активностью височно-париетальной и дорсомедиальной префронтальной коры. Высказано предположение, что  $\alpha$ -ритм взаимосвязан с состоянием покоя и отсутствия внимания, тогда как  $\beta_2$ -ритм активируется при осуществлении когнитивных операций, в том числе спонтанной мыслительной деятельности вне конкретных стимулов. Корреляции гемодинамической активности с  $\theta$ -ритмом (4–7 Гц) обнаружено не было.

В исследованиях W. Ray, H.W. Cole [11] электроэнцефалография была использована для оценки взаимодействий между полушариями при эмоциональном и когнитивном состояниях. Оказалось, что реакции на различные виды задач (на внимание, когнитивные задачи) и эмоциональные факторы по-разному отражаются на ЭЭГ. Это касалось как частотных составляющих, так и локализации изменений. Так, задачи, обусловленные поступлениями стимулов извне, имели отражение в париетальных областях (на частотах  $\alpha$ -ритма). Однако изменения  $\alpha$ -ритма больше проявлялись в задачах, обусловленных внутренними процессами (например, решение арифметических задач в уме), чем в задачах, обусловленных внешними стимулами. Изменения касались обоих полушарий, но во время решения «внутренних» задач значимое повышение мощности  $\alpha$ -ритма было отмечено в правом полушарии в париетальной и височной областях.

Было обнаружено, что мощность  $\alpha$ -активности имеет обратное соотношение с ментальными процессами в головном мозге. Активация  $\beta$ -ритма была особенно характерна для эмоционально позитивных и негативных задач в височной области и для когнитивных задач в париетальной области. Было отмечено межполушарное различие в диапазоне  $\beta$ -ритма при решении вербальных задач (более чем пространственных). Во время положительных эмоциональных состояний  $\beta$ -активность была представлена больше в правой височной области, чем во время негативных эмоциональных состояний. То, что  $\beta$ -ритм является чувствительным к различным когнитивным и эмоциональным состояниям, позволяет предположить, что изменение  $\beta$ -ритма ЭЭГ может служить маркером соответствующих когнитивных и эмоциональных состояний [11].

В работах R.J. Davidson et al. [12–14] при изучении состояния эмоционального стресса у группы здоровых добровольцев и лиц, страдающих фобиями, было показано значение мощности  $\alpha$ -ритма (конкретно  $\alpha_1$ -ритма) при оценке эмоциональных состояний. Гипотеза авторов состоит в том, что низкочастотный  $\alpha_1$ -ритм (8–10 Гц) и высокочастотный  $\alpha_2$ -ритм (10–13 Гц) происходят от различных источников

и имеют различное функциональное значение. Низкочастотная составляющая  $\alpha$ -ритма больше зависит от аффективных составляющих, чем высокочастотная. Отмечено снижение мощности  $\alpha_1$ -ритма в состоянии эмоционального стресса по сравнению с фоновыми записями (исследовались передние, центральные, латеральные лобные, передние височные, центральные и париетальные отведения).

Поскольку снижение мощности  $\alpha_1$ -ритма интерпретируется как индикатор возрастания активации соответствующих областей, у большинства испытуемых выявлено возрастание активации в перечисленных областях мозга в состоянии острого эмоционального стресса. У лиц, страдающих фобиями, имело место значимо большее возрастание активации в правом полушарии по сравнению с группой сравнения, в которой у большинства обследованных реакция была обратной. В состоянии стресса ожидания картина была аналогичной. При изучении  $\theta$ -ритма различия между полушариями были практически достоверными и аналогичными поведению  $\alpha_1$ -ритма. При исследовании мощности  $\delta$ -,  $\alpha_2$ -,  $\beta_1$ - и  $\beta_3$ -ритмов различия между фоновыми записями и записями в состоянии эмоционального стресса были недостоверными. Не было отмечено достоверных различий и между полушариями. Однако мощность  $\beta_2$ -ритма у лиц, страдающих фобиями, была значимо выше в правом полушарии во время стресса ожидания, в то время как в группе сравнения преобладала функция активации левого полушария.

В данных исследованиях была подчеркнута роль правосторонней темпоральной и префронтальной активации во время состояния эмоционального стресса [13]. Исследование стрессовых реакций у лиц, страдающих фобиями (фобией публичного выступления), показало, что у таких лиц более выражена степень беспокойства и негативного аффекта во время состояния ожидания по сравнению с группой сравнения. У страдающих фобиями было отмечено значительное увеличение правосторонней активации в антериальной темпоральной и латеральной префронтальной областях. Эти реакции коррелировали с повышением частоты сердечного ритма примерно на 48%. Исследование подтверждает гипотезу о правосторонней антериальной кортикальной активации во время состояния эмоционального стресса. Эта модель базируется на теории R.J. Davidson et al. [12–14], в соответствии с которой определенные области левой префронтальной коры являются частью системы, участвующей в формировании поведения и эмоций, связанных с приближением к объекту, тогда как области антериального правого полушария являются частью системы, участвующей в формировании поведения, связанного с избеганием.

Традиционно при анализе ЭЭГ используются классические методы корреляционного, спектрального и парного когерентного анализа. Однако эти методы эффективны только для оценки функционального состояния областей головного мозга и исследования парного взаимодействия между двумя областями или структурами полушарий. Этого недостаточно для изучения интегративной деятельности головного мозга,

что особенно важно при изучении состояния острого и хронического эмоционального стресса как комплексного процесса.

Альтернативной к традиционному изучению ЭЭГ как стохастического процесса является гипотеза, согласно которой ЭЭГ сигнал рассматривается как выходящий сигнал нелинейной системы, находящейся в состоянии динамического хаоса. Проведение нелинейного анализа ЭЭГ позволяет получить ряд количественных характеристик (корреляционная размерность, размерность вложения, максимальный показатель (экспонента) Ляпунова, энтропия Колмогорова—Синяя), которые дают возможность оценить различные свойства нейродинамических систем и находят отображение в ЭЭГ сигнале.

Корреляционная размерность (D2) отражает степень сложности нейродинамической системы, ее динамические свойства в области конкретного ЭЭГ отведения. Размерность вложения позволяет сделать предположение о том, как много компонентов формируют данную нейродинамическую систему. С помощью максимального показателя (экспоненты) Ляпунова определяется уровень хаоса в исследуемой области мозга. Вычисление энтропии Колмогорова—Синяя позволяет оценить количество информации, которое необходимо для прогноза поведения динамической системы в будущем. Другими словами, можно определить временной интервал, на основании которого делается прогноз [15, 16].

Головной мозг представляет собой иерархию достаточно независимых (автономных) субсистем (функциональных систем), формирующихся в зависимости от поведенческих реакций человека, находящегося в состоянии острого и хронического эмоционального стресса. И только комплексное применение методов линейного и нелинейного анализа (методов детерминистского хаоса) позволяет всесторонне определить характеристики этих функциональных систем,

выявить энцефалографические корреляты и оценить состояние эмоционального стресса.

Между тем до настоящего времени аффективная кортикальная активация и эффекты различных эмоциональных состояний с применением методов нелинейного анализа ЭЭГ были изучены недостаточно, поскольку применение этих методов требует серьезного математического аппарата и должно быть решено на программном уровне анализа ЭЭГ. Подобные исследования единичны, и часто значение их результатов весьма сомнительно. Так, L.I. Aftanas et al. [17] применили нелинейный подход к анализу ЭЭГ при изучении различных состояний деятельности мозга здорового человека, возникающих под воздействием эмоционально нейтральных, позитивных и негативных видеостимулов. При анализе ЭЭГ сегментов, соответствующих этим состояниям, был рассчитан ряд параметров, отражающих состояние динамического хаоса (энтропия Колмогорова, K2, экспонента Ляпунова). На основании полученных результатов было выявлено значимое увеличение кортикальной динамики как при позитивных, так и при негативных эмоциональных состояниях по отношению к эмоционально нейтральным состояниям.

Рассмотренные экспериментальные данные приводят к заключению, что энцефалографические методы исследования, удобные и неинвазивные, являются показательными при изучении активности головного мозга в состоянии стресса. Имеются интересные возможности развития методов математического анализа ЭЭГ. Достаточно перспективны нелинейные методы исследования ЭЭГ, позволяющие получить объективные количественные показатели изменений динамических характеристик ключевых корковых и подкорковых структур мозга, принимающих участие в формировании адаптационных процессов в условиях острого и хронического эмоционального стресса.

#### Литература

1. Cooper C. L., Watson M. *Cancer and Stress (Psychological, Biological and Coping Studies)* — N.Y., 1994.— 300 p.
2. The effects of the hypothalamus on hemodynamic changes elicited by vagal nerve stimulation / H. Niwa, Y. Hirota, T. Shibutani et al. // *Anesth. Prog.*— 1996.— Vol. 43, № 2.— P. 41–51.
3. Mayer E.A., Fanselow M.S. Dissecting the components of central response to stress // *Nature Neurosci.*— 2003.— Vol. 6.— P. 1011–1107.
4. Barlow D.H., Chorpita B.F., Turovsky J. Fear, Panic, Anxiety and Disorders of Emotions // *Nebraska Symp. Motiv.*— 1996.— Vol. 43.— P. 251–328.
5. Functional Anatomy of Anticipatory Anxiety / Ph. Chua, M. Krams, I. Toni et al. // *NeuroImage.*— 1999.— № 9.— P. 563–571.
6. Damasio A.R. *Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn* // N. Y.: Verlag G.P. Putnam's Son, 1994.— 384 s.
7. Bechara A., Damasio H., Damasio A.R. Role of the Amygdala in Decision-Making // *Ann. N.Y. Acad. Sci.*— 2003.— Vol. 985.— P. 356–369.
8. Reiman E.M., Fusselman M.J.L., Fox B.J. Neuroanatomical correlates of anticipatory anxiety // *Science.*— 1989.— Vol. 243.— P. 1071–1074.
9. Selective activation of mesoamygdaloid dopamine neurons by conditioned stress: attenuation by diazepam / M.L. Coco, C.M. Kuhn, T.D. Ely, C.D. Kilts // *Brain Res.*— 1992.— Vol. 590.— P. 39–47.
10. Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest / H. Laufs, K. Krakow, P. Sterzer et al. // *PNAS.*— 2003.— Vol. 100, №. 19.— P. 11053–11058.
11. Ray W., Cole H.W. EEG Alpha Activity Reflects Attentional Demands, and Beta Activity Reflects Emotional and Cognitive Process // *Science.*— 1998.— Vol. 228.— P. 750–752.
12. Regional brain function, emotion and disorders of emotion / R.J. Davidson, H. Abercrombie, J.B. Nitschke, K. Putnam // *Curr. Opin. Neurobiol.*— 1999.— Vol. 9.— P. 228–234.
13. Whaile a Phobic Waits: Regional Brain Electrical and Autonomic Activity in Social Phobics during Anticipation of Public Speaking / R.J. Davidson, J.R. Marshall,

- A.J. Tomarken, J.B. Henriques // *Soc. of Biol. Psych. Rev.*— 2000.— Vol. 47.— P. 23–47.
14. *Davidson R.J.* Emothional and affective style: Hemispheric substrates // *Psychol. Sci.*— 1992.— Vol. 3.— P. 39–43.
15. Usefulness of non-linear EEG analysis / S. Micheloyannis, N. Flitzanis, E. Papanikolaou et al. // *Acta Neurol. Scand.*— 1998.— Vol. 97.— P. 13–19.
16. New Neurodiagnostics technology for brain research on the basis of multivariate and nonlinear (deterministic chaos) analysis of an EEG / O.Yu. Mayorov, M. Fritzsche, A.B. Glukhov et al. // *Achievements in Space Medicine into Health Care Practice and Industry.*— Munchen, 2003.— P. 157–166.
17. Non-linear analysis of emotion EEG: calculation of Kolmogorov entropy and the principal Lyapunov exponent / L.I. Aftanas, N.V. Lotova, V.I. Koshkarov et al. // *Neurosci. Letters.*— 1997.— Vol. 226.— P. 13–16.

Поступила 05.08.2005

## BRAIN BIOELECTRIC ACTIVITY IN CONDITIONS OF EMOTIONAL STRESS

L.N. Fritzsche

### S u m m a r y

The up-to-date, mainly international, sources devoted to the study of bioelectrical brain activity in conditions of emotional stress are analyzed in detail.