

Шендяпина М.В., Казымаев С.А., Шаповаленко Т.В., Лядов К.В.  
ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России, Москва, Россия  
125367, Москва, Ивановское шоссе, 3

## Применение метода биологической обратной связи по инфранизким частотам электроэнцефалограммы в комплексной реабилитации пациентов со сниженным уровнем сознания

В последние годы разработан протокол биологической обратной связи (БОС) по инфранизким частотам ( $<0,01$  Гц) электроэнцефалограммы (ЭЭГ), соответствующим частотам сетей пассивного режима работы мозга.

**Цель исследования** – оценка терапевтических особенностей метода БОС по ЭЭГ в реабилитации пациентов со сниженным уровнем сознания.

**Пациенты и методы.** В исследование вошло 11 пациентов со сниженным уровнем сознания ( $7,4 \pm 2,5$  баллов по шкале комы Глазго). Пациентов обследовали с помощью специализированных клинических шкал до и каждые 3 нед в течение БОС-терапии (5 сеансов БОС в неделю).

**Результаты.** По данным нейропсихологических шкал, у пациентов отмечено выраженное повышение уровня сознания и психической активности уже после 3-недельной терапии, которое наблюдалось вплоть до завершения курса нейрореабилитации.

**Заключение.** Показано значительное улучшение клинических показателей при использовании БОС по ЭЭГ у пациентов с минимальным уровнем сознания. Метод БОС по инфранизким частотам ЭЭГ заслуживает внимания как перспективный инструмент, позволяющий повысить уровень сознания пациентов в доступной для них форме.

**Ключевые слова:** биологическая обратная связь; нейрореабилитация; состояние минимального сознания.

**Контакты:** Мария Валентиновна Шендяпина; [maria-shendyapina@yandex.ru](mailto:maria-shendyapina@yandex.ru)

**Для ссылки:** Шендяпина МВ, Казымаев СА, Шаповаленко ТВ, Лядов КВ. Применение метода биологической обратной связи по инфранизким частотам электроэнцефалограммы в комплексной реабилитации пациентов со сниженным уровнем сознания. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2016;8(4):10–13.

### *Use of an infra-low frequency EEG biological feedback technique in the comprehensive rehabilitation of patients with a decreased level of consciousness*

*Shendyapina M.V., Kazymaev S.A., Shapovalenko T.V., Lyadov K.V.*

*Treatment and Rehabilitation Center, Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia  
3, Ivankovskoe Shosse, Moscow, 125367*

A protocol for EEG biological feedback (BFB) at infra-low frequencies ( $<0.01$  Hz) corresponding to those of the brain default mode network has been devised in recent years.

**Objective:** to evaluate the therapeutic features of an EEG BFB technique in the rehabilitation of patients with a decreased level of consciousness.

**Patients and methods.** The study included 11 patients with a decreased consciousness level (Glasgow coma scores of  $7.4 \pm 2.5$ ). The patients were examined using the specialized clinical scales before and every 3 weeks during BFB therapy (5 BFB sessions per week).

**Results.** According to the neuropsychological scales, the patients' level of consciousness and mental activity were noted to become obviously increased just after 3 weeks of therapy, which was observed until the neurorehabilitation course was completed.

**Conclusion.** The minimally conscious patients using EEG BFB showed a significant clinical improvement. The infra-low frequency EEG BFB method deserves attention as a promising tool for increasing the patients' level of consciousness in accessible form.

**Keywords:** biological feedback; neurorehabilitation; minimally conscious state.

**Contact:** Maria Valentinovna Shendyapina; [maria-shendyapina@yandex.ru](mailto:maria-shendyapina@yandex.ru)

**For reference:** Shendyapina MV, Kazymaev SA, Shapovalenko TV, Lyadov KV. Use of an infra-low frequency EEG biological feedback technique in the comprehensive rehabilitation of patients with a decreased level of consciousness. *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika = Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics.* 2016;8(4):10–13.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.14412/2074-2711-2016-4-10-13>

Проблема восстановления уровня сознания при неврологических заболеваниях (черепно-мозговая травма, инсульт, энцефалопатии и т. д.) стоит достаточно остро. Сни-

женное состояние сознания накладывает существенные ограничения на возможности контакта с пациентом и реабилитационные мероприятия [1–10].

Состояние минимального сознания отличается от вегетативного наличием одного или нескольких признаков ориентации в собственной личности и/или окружающей среде: выполнение простых команд, различные вербальные или жестовые ответы «да – нет» (правильные или неправильные) или движения, выходящие за рамки простых рефлексов. Обычно состояние минимального сознания возникает на выходе из вегетативного состояния, однако оно может наблюдаться и в ситуации прогрессирующего дефицита, вызванного рядом нейродегенеративных заболеваний.

В исследованиях, посвященных реабилитации пациентов после пролонгированной комы, хорошие результаты были получены при использовании метода биологической обратной связи (БОС) [11, 12], когда у пациентов восстанавливали нарушенные ритмы мозга по основным частотным полосам электроэнцефалограммы – ЭЭГ (альфа- и бета-тренинги), одновременно редуцируя ряд серьезных когнитивных симптомов. Однако традиционная парадигма тренинга с БОС по ЭЭГ обычно предполагает сознательное повышение амплитуды ЭЭГ в заданных частотах, что невозможно без высокого уровня сотрудничества со стороны больного. Вследствие этого значимые нарушения сознания до недавнего времени являлись противопоказанием к использованию данной методики.

В последние годы [13] была разработана методика тренинга по инфранизким (<0,01 Гц) частотам ЭЭГ, соответствующим частотам сети пассивного режима работы мозга (default mode networks, DMN). Считается, что DMN охватывает функционально связанные между собой зоны передней и задней поясной извилины, венстромедиальной и дорсомедиальной префронтальной коры, а также височно-теменную зону. Поскольку DMN активируется в перерывах между сознательной целенаправленной деятельностью, то способствующий регуляции ее деятельности тренинг не требует сохранности психической активности пациента. Также в пользу выбора парадигмы БОС по инфранизким частотам свидетельствуют последние данные о решающей роли DMN в реализации функции сознания. Так, в ряде нейровизуализационных исследований показано, что уровень согласованности работы DMN имеет положительную корреляцию с уровнем сознания «неречевых» пациентов с поражением мозга. Например, у пациентов в сознании с синдромом locked-in уровень когерентности DMN мало отличается от такового у здоровых испытуемых [14], в то время как у пациентов с вегетативным статусом и при минимальном уровне сознания все проводящие пути, соединяющие рабочие области DMN, были нарушены [15]. Подобные результаты заставляют предположить, что эффективность функциональной согласованности работы DMN опосредствует качество представленности самосознания у пациентов [16].

Таким образом, операциональная синхронизация сети DMN на ЭЭГ позволяет получить достаточно объективную и точную оценку наличия сознания при отсутствии контакта с пациентом, а также полезную информацию при планировании и проведении реабилитационных мероприятий.

**Цель** исследования – оценка терапевтических возможностей применения БОС-тренинга по инфранизким частотам ЭЭГ в реабилитации больных со значимыми нарушениями психической активности и сниженным уровнем сознания.

**Пациенты и методы.** В исследование включено 11 пациентов (10 мужчин и 1 женщина) с минимальным уровнем сознания ( $7,4 \pm 2,5$  балла по шкале комы Глазго – ШКГ). Из них 6 пациентов перенесли инсульт, 2 имели энцефалопатию токсического генеза, еще 2 получили тяжелую черепно-мозговую травму и у 1 пациента была опухоль мозга. Таким образом, гетерогенность этиологии не являлась критерием включения, поскольку в данном исследовании все пациенты имели сниженный уровень сознания после пролонгированной комы.

Средний возраст пациентов составлял  $50,9 \pm 16,0$  лет. Всем пациентам проводили краткое нейропсихологическое обследование до начала БОС-терапии, а затем каждые 3 нед ( $23,3 \pm 6,4$  дня между измерениями) во время терапии.

Для измерения уровня сознания и психической активности пациентов использовали наиболее распространенные в литературе специализированные клинические шкалы: 1) шкалу уровня когнитивного функционирования (Level of Cognitive Functioning Scale, LCFS), разработанную С. Hagen и соавт. [17] с целью описания диапазона уровней когнитивных нарушений, характеризующих разные стадии восстановления пациентов с травматическим поражением мозга. Психометрические данные нескольких исследований [18–20] показали адекватный уровень внутренней и внешней валидности шкалы; 2) шкалу Neuromentalindex (NMI), расширяющую показатели индекса Бартел. [21]. NMI разработана немецкими авторами в 2000 г. для получения информации о состоянии базовых психологических и когнитивных функций, включая оценку сознания, ориентации, памяти, поведения, эмоций, общения, решения проблем, восприятия и цикла «сон – бодрствование». Имеет высокий уровень внутренней согласованности (коэффициент альфа Кронбаха – 0,92) и внешней валидности; 3) ШКГ – наиболее известный и широко используемый с 1974 г. инструмент оценки пациентов со сниженным уровнем сознания. Данные критического обзора [22] показывают высокую чувствительность, прогностическую валидность и надежность (межклассовые коэффициенты корреляции – от 0,8 до 1) ШКГ.

В качестве основы исследования был выбран экспериментальный план с одной группой. После прохождения первичного обследования все пациенты получали 5 сеансов БОС по ЭЭГ в неделю на протяжении  $45 \pm 14,1$  дня. БОС осуществлялась на аппарате Neuroamp II, интегрированном с программным комплексом Cygnet, на отведениях T3–T4 и Fp1–Fp2. Оптимальная частота тренировки начиналась с 0,5 мГц и затем могла быть изменена в зависимости от индивидуальной реакции пациента.

В качестве основы БОС выступала программа Inner Tube (Beemedic, EEG.info), проигрывающая непрерывный видео- и аудиосюжет с летящей по лабиринту ракетой. В зависимости от степени согласованности ритмов обоих полушарий изменялись громкость музыки, шум мотора ракеты и скорость ее перемещения по экрану компьютера. Пациентам в состоянии комы (без спонтанного открывания глаз) обратная связь предоставлялась только в звуковом формате через наушники. В этом случае сигналом повышения когерентности работы DMN служило повышение громкости музыки и звона колокольчиков. У пациентов, способных спонтанно открывать глаза и фиксировать взгляд (в вегетативном статусе и выше), в дополнение к обратной аудиосвязи прово-

Шкала	Средний балл			Критерий Фридмана для К-зависимых выборок	
	начало терапии	промежуточный этап	конец терапии	$\chi^2$	p
ШКГ	7,4±2,5	8,6±1,7	9,6±1,1	7,6	0,022
LCFS	1,8±0,8	2,6±1,8	4,1±2,3	11	0,004
NMI	8,3±10,6	21,9±19,3	2,2±23,0	12,6	0,002

дили визуальную обратную связь через экран ноутбука, позволяющую нервной системе воспринять и автоматически соотнести скорость движения летящей ракеты со степенью активации мозга в инфранизкой частотной полосе.

Для статистического анализа полученных данных использовали программный пакет SPSS.23. Для статистического анализа применяли критерии Фридмана для К-зависимых выборок для показателей нейропсихологических шкал в начале, середине и конце БОС-терапии.

**Результаты.** Статистический анализ показателей нейропсихологических шкал выявил видимое повышение уровня сознания и психической активности у пациентов уже после 3 нед терапии (отметка промежуточного этапа), продолжавшееся вплоть до завершения курса нейрореабилитации (см. таблицу).

Видимые изменения в состоянии пациентов начинали происходить уже во время сеансов БОС-терапии. Так, 2 пациента во время БОС-процедуры впервые начали говорить, у 9 наблюдалось заметное повышение движений в конечностях и мимической активности.

**Обсуждение.** В ходе БОС-тренинга по ЭЭГ, направленного на повышение функциональной согласованности DMN, работающей на инфранизких частотах (0,001–0,01 Гц), установлена значительная положительная динамика состояния пациентов по результатам как клинического обследования, так и нейропсихологических шкал. БОС-тренинг по инфранизким частотам ЭЭГ способствует восстановлению уровня сознания и расширению спектра эмоциональных и поведенческих реакций пациентов.

На сегодняшний день существует сравнительно небольшое количество аналогичных исследований, подтверждающих эффективность БОС-терапии у больных со сниженным уровнем сознания. Еще в 1980 г. L.M. Frazier [23]

представил единичное наблюдение 16-летней пациентки после тяжелой черепно-мозговой травмы, у которой успешно проведена функциональная реабилитация. В 1999 г. М.Е. Аугерс [24] описал многочисленные выходы пациентов из комы при использовании метода БОС.

Тем не менее вопрос о вкладе БОС-технологий в общий ход восстановления пациента остается открытым. Во-первых, для получения убедительных результатов необходимо проведение двойного слепого исследования с контрольной группой в целях минимизации эффекта экспериментатора и максимальной унификации контакта специалиста с пациентами. Во-вторых, сложно отделить вклад собственно обратной связи от влияния аудиовизуальной стимуляции (музыка и видеоряд). Было показано [25], что метод сенсорной стимуляции сам по себе является действенной интервенцией, влияющей на динамику состояния пациентов со сниженным уровнем сознания. В-третьих, значительным недостатком представленной работы является кросс-модальность интервенции (нейрофизиологические процессы) и методов оценки (нейропсихологические шкалы). Здесь стоит подчеркнуть необходимость междисциплинарного контроля с использованием инструментальных методов (ЭЭГ, вызванные потенциалы, магнитно-резонансная томография).

**Заключение.** Метод БОС-терапии по инфранизким частотам заслуживает внимания как перспективный психофизиологический механизм, позволяющий в комфортных и доступных для пациента условиях работать над повышением уровня сознания. Однако, поскольку представленное исследование включало относительно малое количество клинических случаев и ограниченный диапазон инструментов оценки, необходимо дальнейшее изучение метода и его возможностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Starr A, Achor LJ. Auditory brain stem responses in neurological disease. *Arch Neurol.* 1975 Nov;32(11):761-8.
2. Uziel A, Benezech J. Auditory brain-stem responses in comatose patients: relationship with brain-stem reflexes and levels of coma. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1978 Oct;45(4):515-24.
3. Giacino JT, Smart CM. Recent advances in behavioral assessment of individuals with disorders of consciousness. *Curr Opin Neurol.* 2007 Dec;20(6):614-9.
4. Overgaard M. How can we know if patients in coma, vegetative state or minimally conscious state are conscious? *Prog Brain Res.* 2009;177:11-9. doi: 10.1016/S0079-6123(09)17702-6.
5. Boly M, Faymonville ME, Schnakers C, et al. Perception of pain in the minimally conscious state with PET activation: an observational study. *Lancet Neurol.* 2008 Nov;7(11):1013-20. doi: 10.1016/S1474-4422(08)70219-9. Epub 2008 Oct 3.
6. Laureys S, Goldman S, Phillips C, et al. Impaired effective cortical connectivity in vegetative state: preliminary investigation using PET. *Neuroimage.* 1999 Apr;9(4):377-82.
7. Laureys S, Faymonville ME, Luxen A, et al. Restoration of thalamocortical connectivity after recovery from persistent vegetative state. *Lancet.* 2000 May 20;355(9217):1790-1.
8. Laureys S, Boly M. What is it like to be vegetative or minimally conscious? *Curr Opin Neurol.* 2007 Dec;20(6):609-13.
9. Okumura Y, Asano Y, Takenaka S, et al. Brain activation by music in patients in a vegetative or minimally conscious state following diffuse brain injury. *Brain Inj.* 2014;28(7):944-50. doi: 10.3109/02699052.2014.888477. Epub 2014 Mar 21.
10. Sun J, Chen W. Music therapy for coma patients: preliminary results. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2015 Apr;19(7):1209-18.
11. Bearden TS, Cassisi JE, Pineda M. Neurofeedback training for a patient with

- thalamic and cortical infarctions. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2003 Sep;28(3):241-53.
12. Pachalska M, Lukowicz M, Kropotov JD, et al. Evaluation of differentiated neurotherapy programs for a patient after severe TBI and long term coma using event-related potentials. *Med Sci Monit*. 2011 Oct;17(10):CS120-8.
13. Othmer SF. *The Protocol Guide*. 2<sup>nd</sup> ed. Los Angeles: EEG Info; 2008.
14. Vanhauzenhuysse A, Noirhomme Q, Tshibanda LJ, et al. Default network connectivity reflects the level of consciousness in non-communicative brain-damaged patients. *Brain*. 2010 Jan;133(Pt 1):161-71. doi: 10.1093/brain/awp313. Epub 2009 Dec 23.
15. Fernandez-Espejo D, Soddu A, Cruse D, et al. A role for the default mode network in the bases of disorders of consciousness. *Ann Neurol*. 2012 Sep;72(3):335-43. doi: 10.1002/ana.23635.
16. Fingelkurts AA, Fingelkurts AA, Bagnato S, et al. DMN operational synchrony relates to self-consciousness: evidence from patients in vegetative and minimally conscious states. *Open Neuroimaging J*. 2012;6:55-68. doi: 10.2174/1874440001206010055. Epub 2012 Jul 27.
17. Hagen C, Malkmus D, Durham P. Rancho Los Amigos levels of cognitive functioning scale. Downey, Calif: Communication Disorders Service, Rancho Los Amigos Hospital. 1972.
18. Dowling GA. Levels of cognitive functioning: Evaluation of interrater reliability. *J Neurosurg Nurs*. 1985 Apr;17(2):129-34.
19. Gouvier W, Blanton P, LaPorte K, Nepomuceno C. Reliability and validity of the Disability Rating Scale and the Levels of Cognitive Functioning Scale in monitoring recovery from severe head injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1987 Feb;68(2):94-7.
20. van Baalen B, Odding E, van Woensel MP, Roebroek ME. Reliability and sensitivity to change of measurement instruments used in a traumatic brain injury population. *Clin Rehabil*. 2006 Aug;20(8):686-700.
21. Müller C, Atria M, Voller B, Auff E. Der Neuromentalindex Ein Additivinstrument zum Barthel-Index zur Erfassung von Fähigkeitsstörungen der psychisch-mentalenen Grunddimensionen in der Neurorehabilitation. *Nervenarzt*. 2000 Dec;71(12):963-9.
22. Prasad K. The Glasgow Coma Scale: a critical appraisal of its clinimetric properties. *J Clin Epidemiol*. 1996 Jul;49(7):755-63.
23. Frazier LM. Biofeedback in coma rehabilitation: Case study. *American Journal of Clinical Biofeedback*. 1980;3(2):148-54.
24. Ayers ME. Assessing and treating open head trauma, coma, and stroke using real-time digital EEG neurofeedback. In: Evans JR, Abarbanel A, editors. *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback*. New York: Academic Press; 1999. P. 203-22
25. Doman G. The effect of intense multi-sensory stimulation on coma arousal and recovery. *Neuropsychological Rehabilitation*. 1993;3(2): 203-12.

Поступила 06.10.2016

#### Декларация о финансовых и других взаимоотношениях

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать. Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.