

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 616.39

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БИНАУРАЛЬНЫХ БИЕНИЙ И СХОДНЫХ ВИДОВ ЗВУКОВОЙ СТИМУЛЯЦИИ НА ПРОЦЕСС ЗАСЫПАНИЯ: КОРОТКОЕ СООБЩЕНИЕ**Д.Е. Шумов^{1,*}, Г.Н. Арсеньев¹, Д.С. Свешников², В.Б. Дорохов¹**¹ *Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН;**Россия, 117485, г. Москва, ул. Бутлерова, д. 5а;*² *кафедра нормальной физиологии, Медицинский институт, Российский университет дружбы народов;**Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8***e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru*

Биения — это физическое явление, возникающее при наложении двух колебательных процессов близкой частоты. В акустике существует также термин “бинауральные биения” — субъективное ощущение слушателя при подаче в правое и левое ухо акустических сигналов немного отличающейся частоты. Коммерческие продукты, основанные на эффекте бинауральных биений, пользуются устойчивой популярностью на рынке современных технологических средств для психо- и физиотерапии, в том числе, для улучшения сна. Однако работ с объективной оценкой именно физиологического воздействия фонограмм с бинауральными биениями на процесс возникновения сна мало. В данной работе проведен сравнительный анализ времени засыпания, определяемого по началу второй стадии дневного сна (появление сонных веретен), при предъявлении трёх фонограмм со сходными характеристиками монотонного звука. Один из них представлял собой комбинацию бинауральных биений на фоне “розового шума”, второй — аналогичный звук с комбинацией монауральных биений, третий — аналогичный звук без биений. Показано, что стимуляция комбинацией бинауральных биений обеспечивает наименьшее время засыпания — как по сравнению с аналогичным звуком, содержащим монауральные биения, так и по сравнению с аналогичным монотонным звуком без биений. Для получения более значимых результатов требуются дальнейшие исследования.

Ключевые слова: бинауральные биения, звуковая стимуляция, дневной сон, засыпание, инсомния, электроэнцефалограмма.

Одним из перспективных методов неинвазивной физиотерапии является акустическая стимуляция, эффективность которой связана, согласно одной из гипотез [1], со способностью подпороговых звуковых стимулов синхронизировать кортикальную активность больших нейронных популяций. Звуковое воздействие применяется в различных устройствах светозвуковой стимуляции [2], некоторых программных продуктах, а также в устройствах биологической обратной связи и аудиозаписях психотерапевтической направленности. Как один из видов звукового воздействия в них, в том числе, применяются низкочастотные биения, т.е. периодическое уменьшение и нарастание интенсивности звука. Несмотря на наличие отдельных обнадеживающих публикаций [3, 4], воздействие звуковых биений на сон до сих пор мало изучено в научном плане.

В психоакустике различают звуковые “бинауральные” и “монауральные” биения (ББ и МБ). МБ проще всего услышать, если электрические сигналы немного отличающейся частоты (например, 440 и 434 Гц) с выходов двух генераторов смешать и подать в источник звука (динамики) — получим

звуковые биения на разностной частоте, в данном случае, 6 Гц. Эти же сигналы можно одновременно подать в два различных динамика и также услышать биения. Здесь подход к смешиванию сигналов — на этапе электрических колебаний или акустических — не влияет на конечный результат. Совсем другое явление наблюдается в случае подачи тех же сигналов отдельно в каждое ухо (с использованием стереонаушников). В этом случае, если одно ухо будет слышать тон с частотой 440 Гц, а другое — тон с частотой 434 Гц, то можно также услышать биения с той же частотой 6 Гц, имеющие, однако, иную, отчасти субъективную, природу. Такие биения называются бинауральными.

Ряд прикладных исследований свидетельствует о положительном влиянии прослушивания ББ на поведение и познавательные процессы [5, 6]. Но есть и данные, свидетельствующие об обратном [7, 8]. Большинство авторов полагает, что наблюдаемые терапевтические эффекты связаны с релаксирующим эффектом ББ.

Наибольшее внимание при разработке новых методов терапии сна уделяется стадии глубокого (медленноволнового) сна [9] из-за его определяю-

шей роли в реализации восстановительных функций организма. Однако не менее важной задачей является разработка средств воздействия на стадию засыпания, поскольку при наличии проблем с засыпанием попытки повлиять на более глубокие стадии сна теряют смысл. Большинство авторов сходятся на том, что критерием начала сна можно считать появление первых сонных веретен, что соответствует началу второй стадии сна [10]. Поэтому латентность появления “сонных веретён” можно использовать в качестве показателя времени засыпания.

Целью настоящей работы было исследование действия звука, порождающего ББ, на процесс засыпания, и сравнение его с действием двух аналогичных видов звука: содержащего МБ и монотонного звука без биений (имитации, ИМ). В качестве критерия эффективности воздействия была выбрана латентность второй стадии сна, измеряемая по времени появления первых сонных веретен.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 14 здоровых испытуемых (12 мужчин и 2 женщины) в возрасте от 20 до 32 лет, не страдающие расстройствами сна и нарушениями слуха. С каждым из них было проведено по 3 опыта во второй половине дня (с 15 до 18 часов). В ходе опыта испытуемый лежал на комфортной кровати в экспериментальной камере с подключенным оборудованием для дистантной регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и движений глаз (электроокулограммы, ЭОГ). Для записи полисомнограммы использовался миниатюрный 8-канальный беспроводной усилитель биопотенциалов (конструкции А.Г. Трощенко). ЭЭГ и ЭОГ регистрировались монополярно с помощью позолоченных чашечковых электродов, фиксируемых клеящимся гелем фирмы Natus (США). ЭЭГ регистрировалось в отведениях Т3, Т4, Cz, Oz (согласно международной системе 10–20); а ЭОГ — от электродов, расположенных у наружных углов глазных щелей, с частотой дискретизации 200 Гц. На двух каналах велась регистрация звука, подававшегося в каждое ухо через вакуумные стереонаушники Sennheiser CX-200 (частота дискретизации 1000 Гц). Громкость звука подбиралась индивидуально, для обеспечения комфортного прослушивания с возможностью уснуть, и находилась в диапазоне 50–53 дБ (db SPL). Длительность эксперимента составляла 32 мин: 1) первая минута — фон; 2) затем 15,5 мин — воздействие, воспроизводилась одна из трёх фонограмм (выбранная случайным образом); 3) следующие 15,5 мин — фон, последствие.

Каждая из трёх предъявляемых фонограмм представляла собой 10-секундный зацикленный фрагмент монотонного звука с наложенным “розовым

шумом”, воспринимаемый как 4-звучный аккорд. Для каждого испытуемого последовательность предъявления этих трёх фонограмм определялась случайным образом.

В фонограмме типа 1 использовались ББ, для чего делалась небольшая расстройка тонов используемого аккорда по каналам: левое ухо (L) — 1) 47,89 Гц; 2) 95,74 Гц; 3) 191,48 Гц; 4) 239,87 Гц; правое ухо (R) — 1) 48,39 Гц; 2) 97,74 Гц; 3) 195,48 Гц; 4) 243,87 Гц, что давало в итоге спектр звукового аккорда из 4 ББ — 0,5 Гц; 2 Гц; 4 Гц; 4 Гц (рис. 1, А).

Такая комбинация частот как несущих, так и биений, была выбрана потому, что она близка к применяемой в аудиозаписях компании “Mongee Products”, на которые опираются в своих исследованиях некоторые авторы [5, 8] как на средство улучшения сна и когнитивных функций.

В фонограмме типа 2 использовались МБ, полученные объединением звуков из двух стереоканалов в один моноканал, включая “розовый шум”. Частоты биений были те же, что и в фонограмме 1, т.е. 0,5 Гц; 2 Гц; 4 Гц; 4 Гц (рис. 1, Б): левое ухо (L) — 1) 47,89 Гц + 48,39 Гц; 2) 95,74 Гц + 97,74 Гц; 3) 191,48 Гц + 195,48 Гц; 4) 239,87 Гц + 243,87 Гц; правое ухо (R) — 1) 47,89 Гц + 48,39 Гц; 2) 95,74 Гц + 97,74 Гц; 3) 191,48 Гц + 195,48 Гц; 4) 239,87 Гц + 243,87 Гц.

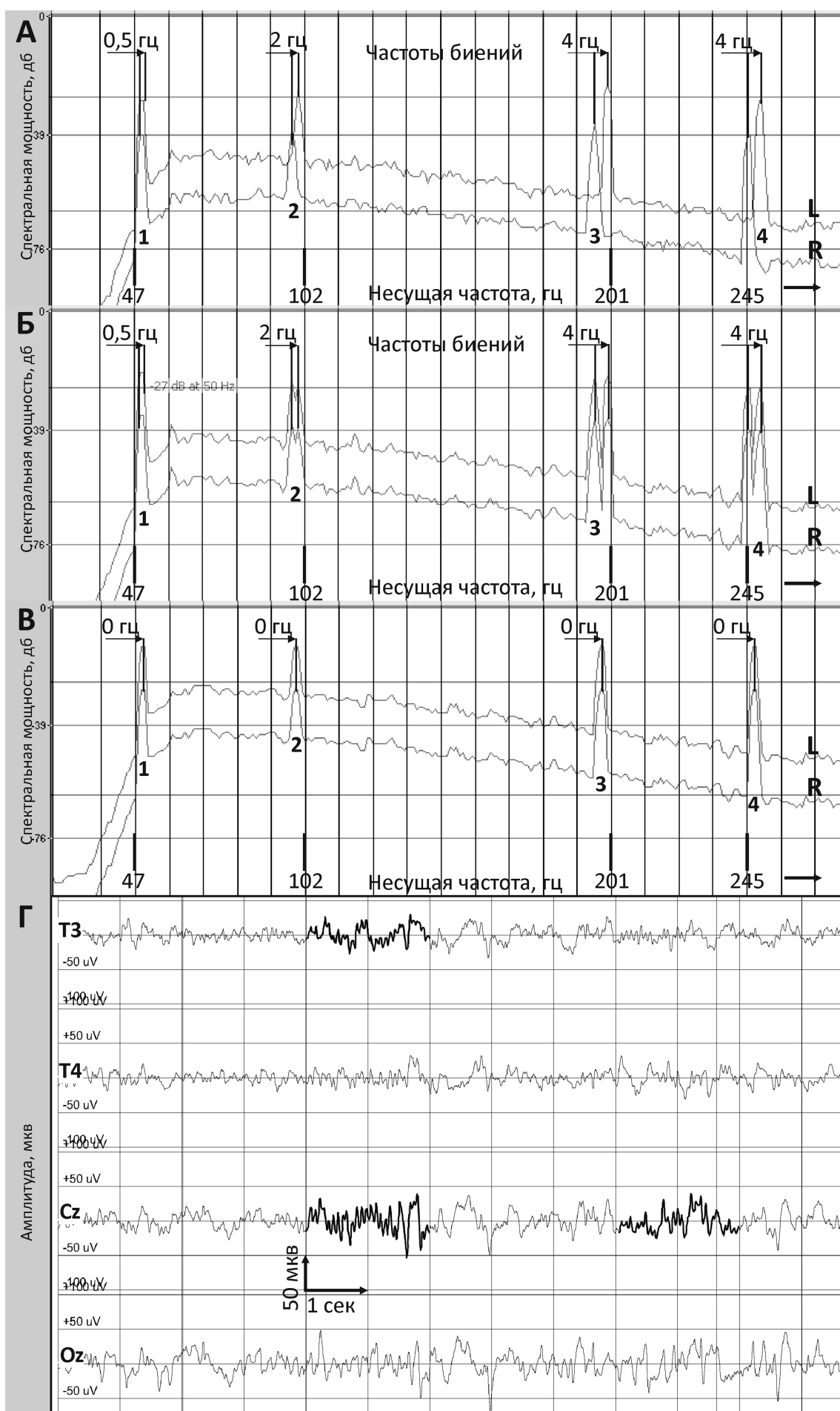
В фонограмме типа 3 в оба уха подавался монофонический звук, не содержащий биений, который состоял из “розового шума”, идентичного шуму фонограммы типа 2, и чистых тонов с вышеупомянутыми частотами: 1) 48,39 Гц; 2) 96,77 Гц; 3) 193,55 Гц; 4) 241,93 Гц (рис. 1, В). Опыты с данным видом звука служили контрольной серией, или ИМ.

Субъективно фонограммы всех трёх видов были очень похожи, особенно при воспроизведении на небольшой громкости, использовавшейся в опытах, хотя тренированный человек вполне мог их различить. Поэтому некоторые из испытуемых сообщали об отличиях звука в разных опытах, а другие — нет.

Результаты и обсуждение

Для 42 записей полисомнограммы, полученных на 14 испытуемых, стадии сна определялись по стандартным критериям [10] с эпохой анализа 20 сек. При визуальном анализе стадий сна устанавливались программные полосовые фильтры: для ЭЭГ — 0,5–30 Гц, для ЭОГ — 0,2–3 Гц. Для определения момента засыпания в качестве критерия была выбрана первая 20-секундная эпоха, с наличием не менее одного сонного веретена (рис. 1, Г), что является основным критерием наступления 2-й стадии сна [10]. Этот показатель далее исполь-

Рис. 1. Спектрограммы звуковых стимулов, использованных в опытах (А–В); сверху — левый канал (L), внизу — правый (R). А — фонограмма с бинауральными биениями. Б — фонограмма с моноуральными биениями. В — фонограмма без биений (имитация). Г — пример 20-секундной эпохи ЭЭГ со второй стадией сна с выделенными сонными веретёнами



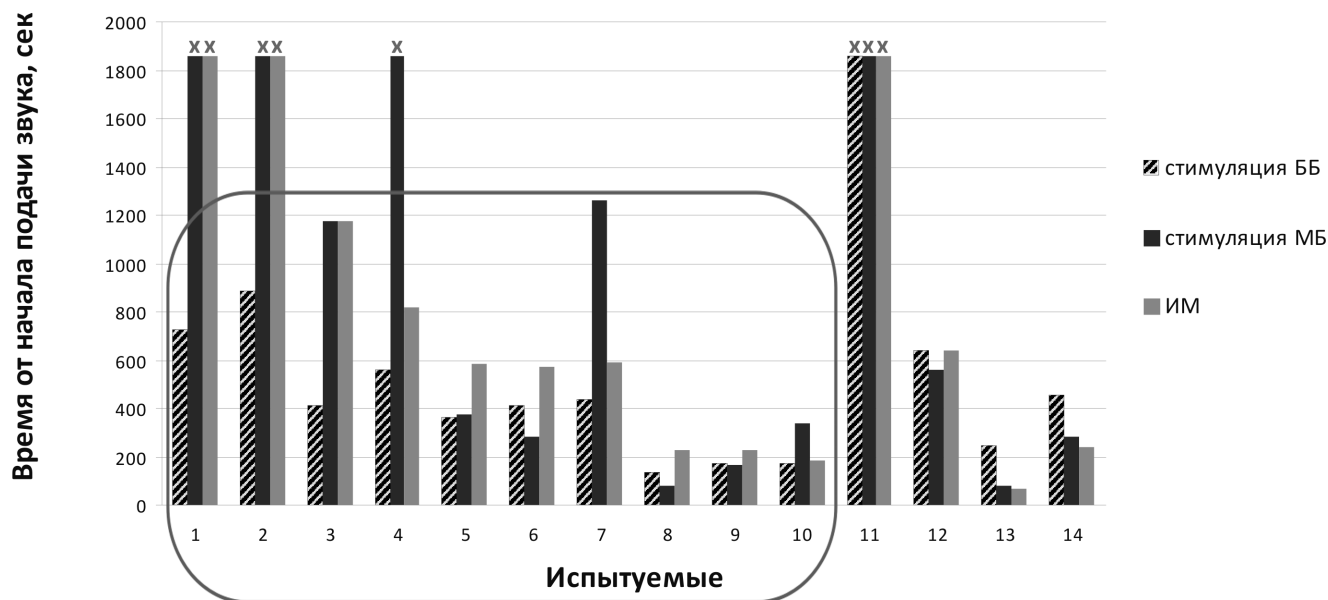


Рис. 2. Гистограмма времени засыпания у 14 испытуемых при прослушивании фонограмм трёх видов: 1) штриховка — бинауральные биения, 2) чёрные столбцы — моноaurальные биения; 3) серые столбцы — без биений, имитация. Обведены овалом 10 “успешных” испытуемых (см. текст)

зовался для сравнения скорости засыпания при предъявлении трёх разных фонограмм.

Полученные данные для каждого испытуемого отображены на рис. 2, где они ранжированы по убыванию разницы времени засыпания между опытами с ББ и ИМ. В случаях, когда вторая стадия не наступала за время опыта, её латентность (время засыпания) приравнивалась ко времени регистрации, т.е. 1860 с. Видно, что при стимуляции ББ время засыпания было меньше, чем при стимуляции ИМ, у 10 испытуемых из 14; при стимуляции МБ — у 5 испытуемых из 14. Сонных веретён не наблюдалось (вторая стадия сна не наступила): в опытах с ББ — у одного испытуемого, в опытах с МБ — у 4 испытуемых, в опытах с ИМ — у 3 испытуемых (на рис. 2 отмечены крестиком).

Вероятность принятия нулевой гипотезы (отсутствие различий времени засыпания испытуемых) при стимуляции ББ и ИМ для всей группы из 14 человек составила $p = 0,043$ по критерию знаковых рангов Уилкоксона, при стимуляции ББ и МБ — $p = 0,13$ (достоверных различий нет), при стимуляции МБ и ИМ — $p = 0,96$ (достоверных различий нет).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bellesi M., Riedner B.A., Garcia-Molina G.N., Cirelli C., Tononi G. Enhancement of sleep slow waves: underlying mechanisms and practical consequences // *Front. Syst. Neurosci.* 2014. Vol. 8. P. 208
2. Tang H.Y., Vitiello M.V., Perlis M., Riegel B. Open-loop neurofeedback audiovisual stimulation: A pilot study of its potential for sleep induction in older adults // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* 2015. Vol. 40. N 3. P. 183–188.
3. Abeln V., Kleinert J., Strüder H.K., Schneider S. Brain-wave entrainment for better sleep and post-sleep state of

Для 10 “успешных” испытуемых, у которых время засыпания при стимуляции ББ было меньше, чем при ИМ (обведены овалом на рис. 2), средние значения составили: время засыпания при ББ — 429 с; время засыпания при ИМ — 809 с; время засыпания при МБ — 926 с. Различия по критерию знаковых рангов Уилкоксона как между ББ и ИМ ($p = 0,005$), так и между ББ и МБ ($p = 0,047$) оказались достоверными.

Таким образом, проведенное исследование показало, что прослушивание звука, содержащего медленные (0,5–4 Гц) ББ достоверно уменьшает время засыпания по сравнению с этим показателем при прослушивании звука-ИМ, не содержащего биений, но аналогичной структуры и громкости. При этом у 10 из 14 испытуемых среднее время засыпания при прослушивании фонограммы с ББ было меньше, чем при прослушивании фонограммы с МБ или ИМ. Для получения более однозначных результатов требуются дальнейшие исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 14-36-01342).

young elite soccer players — A pilot study // *Eur. J. Sport. Sci.* 2014. Vol. 14. N 5. P. 393–402.

4. Дорохов В.Б., Иваницкий Г.Е., Шумов, Д.Е., Шукин Т. Регуляция уровня бодрствования методом бинауральной аудиостимуляции // Сон — окно в мир бодрствования: Материалы школы-конференции. (Москва, 3–5 окт. 2001 г.) / Москва: ИВНД и НФ РАН, 2001. С. 832.

5. Palaniappan R., Phon-Amnuaisuk S., Eswaran C. On the binaural brain entrainment indicating lower heart rate variability // *Int. J. Cardiol.* 2015. Vol. 190. P. 262–263.

6. Padmanabhan R., Hildreth A.J., Laws D. A prospective, randomised, controlled study examining binaural beat audio and pre-operative anxiety in patients undergoing general anaesthesia for day case surgery // *Anaesthesia*. 2005. Vol. 60. N 9. P. 874–877.

7. Carter C. Healthcare performance and the effects of the binaural beats on human blood pressure and heart rate // *J. Hosp. Mark. Public Relations*. 2008. Vol. 18. N 2. P. 213–219.

8. Kennel S., Taylor A.G., Lyon D., Bourguignon C. Pilot feasibility study of binaural auditory beats for reducing symptoms of inattention in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder // *J. Pediatr. Nurs*. 2010. Vol. 25. N 1. P. 3–11.

9. Индурский П.А., Маркелов В.В., Шахнарович В.М., Дорохов В.Б. Низкочастотная электрокожная стимуляция кисти руки во время медленноволновой стадии ночного сна: физиологические и терапевтические эффекты // *Физиология человека*. 2013. Т. 39. № 6. С. 91–105.

10. Iber C. The AASM manual for the scoring of sleep and associated events. Westchester, IL: American Academy of Sleep Medicine, 2007. 59 p.

Поступила в редакцию

11.10.2016

Принята в печать

16.12.2016

PHYSIOLOGY

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE STIMULATION WITH BINAURAL BEAT AND SIMILAR KINDS OF SOUND ON FALLING ASLEEP PROCESS: A BRIEF NOTE

D.E. Shumov^{1,*}, G.N. Arsen'ev¹, D.S. Sveshnikov², V.B. Dorokhov¹

¹ Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences;
Butlerova ul. 5A, 117485 Moscow, Russia

² Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia;
Miklukho-Maklay ul. 8, 117198, Moscow, Russia

*e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru

Beats are the physical phenomenon appearing when two oscillation processes of close frequencies are superimposed. In acoustics, there is also the term “binaural beats” — a subjective feeling of the listener when acoustic tones of slightly different frequency are applied separately to each ear. Commercial products based on the effect of binaural beats enjoy steady popularity in the market of the modern technological tools for psycho- and physiotherapy. In particular, they are applied to improve sleep. But it is the objective evaluation of physiologic effect of binaural beats on sleep onset process that has very little evidence to support. The paper provides comparative analysis of the time to fall asleep determined by the onset of 2nd sleep stage (sleep spindle appearance). The subjects listened to monotonous sound of three similar kinds including the combination of binaural beats with pink noise; the similar sound with the combination of monaural beats; the similar sound without any beat. The stimulation by the combination of binaural beats is shown to produce the least sleep onset time compared to similar sound containing monaural beats as well as to similar beatless sound. Further investigation is required to get results that are more consistent.

Key words: *binaural beats, falling asleep, insomnia, acoustic stimulation, daytime sleep, electroencephalogram.*

Сведения об авторах

Шумов Дмитрий Ефимович — инженер лаборатории нейробиологии сна и бодрствования Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Тел.: 8-495-334-72-00; e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru

Арсеньев Глеб Николаевич — мл. науч. сотр. лаборатории нейробиологии сна и бодрствования Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Тел.: 8-495-334-72-00; e-mail: byron100z@gmail.com

Свешников Дмитрий Сергеевич — докт. мед. наук, доц. кафедры нормальной физиологии Медицинского института Российского университета дружбы народов. Тел.: 8-495-434-55-11; e-mail: dmsveshnikov@gmail.com

Дорохов Владимир Борисович — докт. биол. наук, зав. лабораторией нейробиологии сна и бодрствования Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Тел.: 8-495-334-72-00; e-mail: vbdorokhov@mail.ru