

Влияние музыки, содержащей бинауральные биения, на динамику дневного засыпания

© Д.Е. ШУМОВ¹, И.А. ЯКОВЕНКО¹, Н.Н. АЛИПОВ², З.В. БАКАЕВА³, Е.Б. ЯКУНИНА³, А.Н. МИНЮК⁴, А.В. ВИНОКУРОВ⁵, В.Б. ДОРОХОВ¹

¹ФБГУ «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии» РАН, Москва, Россия;

²ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия;

³Медицинский институт ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия;

⁴ООО НМФ «Нейротех», Таганрог, Россия;

⁵ООО «Майнд технолоджи», Москва, Россия

Резюме

Цель исследования. Проверка гипотезы, что прослушивание во время дневного сна музыки с эффектом бинауральных биений тета- и дельта-диапазонов сокращает латентность сна, определяемую по времени наступления 2-й стадии медленно-го сна, а также повышает его устойчивость.

Материал и методы. Проведена по контрбалансированной схеме серия экспериментов длительностью 20 мин с 21 участником, с каждым из которых были записаны по 2 опыта: со стимуляцией (с прослушиванием музыки) и контрольный (в тишине).

Результаты и заключение. Полученные результаты не смогли достоверно подтвердить снижение латентности сна при прослушивании музыки. Повышение устойчивости сна было достоверно подтверждено с использованием нелинейной регрессионной модели. Данные результаты могут быть использованы при разработке нефармакологических методов коррекции сна.

Ключевые слова: бинауральные биения, дневной сон, засыпание, латентность сна.

Информация об авторах:

Шумов Д.Е. — <https://orcid.org/0000-0002-5755-5563>; e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru

Яковенко И.А. — <https://orcid.org/0000-0002-0391-7266>; e-mail: irinayakovenko@mail.ru

Алипов Н.Н. — <https://orcid.org/0000-0002-5874-2934>; e-mail: n-alipov@yandex.ru

Бакаева З.В. — <https://orcid.org/0000-0001-7795-0897>; e-mail: bakaeva_zv@mail.ru

Якунина Е.Б. — <https://orcid.org/0000-0002-7962-1971>; e-mail: dr.yakunina@gmail.com

Минюк А.Н. — <https://orcid.org/0000-0002-1568-7138>; e-mail: anminyuk@gmail.com

Винокуров А.В. — <https://orcid.org/0000-0001-8271-5920>; e-mail: av@privatenap.ru

Дорохов В.Б. — <https://orcid.org/0000-0003-3533-9496>; e-mail: vbdorokhov@mail.ru

Как цитировать:

Шумов Д.Е., Яковенко И.А., Алипов Н.Н., Бакаева З.В., Якунина Е.Б., Минюк А.Н., Винокуров А.В., Дорохов В.Б. Влияние музыки, содержащей бинауральные биения, на динамику дневного засыпания. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019;119(11):39-44. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911911139>

The effect of music containing binaural beats on daytime fall-asleep dynamics

© D.E. SHUMOV¹, I.A. YAKOVENKO¹, N.N. ALIPOV², Z.V. BAKAEVA³, E.B. YAKUNINA³, A.N. MINYUK⁴, A.V. VINOKUROV⁵, V.B. DOROKHOV¹

¹Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

²Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

³Medical Institute of Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

⁴«Neurotech» LLC, Taganrog, Russia;

⁵«Mind Technology» LLC, Moscow, Russia

Abstract

Objective. To test the hypothesis that listening to the music with the effect of binaural beats of theta and delta range during nap decreases sleep latency defined by 2nd slow wave sleep stage appearance, as well as improves its stability.

Material and methods. The experimental set of 20 min duration was established according to the counterbalanced scheme with 21 subjects. Each subject participated in two attempts: one attempt included sound stimulation (music) and another one was sham (silence).

Автор, ответственный за переписку: Шумов Дмитрий Ефимович — e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru

Corresponding author: Shumov D.E. — e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru

Results and conclusion. The decrease in sleep latency during stimulation is not confirmed reliably. The increase in sleep stability has been confirmed reliably using nonlinear regression model. The findings can be used in the development of non-pharmacologic ways of sleep treatment.

Keywords: *binaural beats, daytime nap, falling asleep, sleep latency.*

Information about the authors:

Shumov D.E. — <https://orcid.org/0000-0002-5755-5563>; e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru

Yakovenko I.A. — <https://orcid.org/0000-0002-0391-7266>; e-mail: irinayakovenko@mail.ru

Alipov N.N. — <https://orcid.org/0000-0002-5874-2934>; e-mail: n-alipov@yandex.ru

Bakaeva Z.V. — <https://orcid.org/0000-0001-7795-0897>; e-mail: bakaeva_zv@mail.ru

Yakunina E.B. — <https://orcid.org/0000-0002-7962-1971>; e-mail: dr.yakunina@gmail.com

Minyuk A.N. — <https://orcid.org/0000-0002-1568-7138>; e-mail: anminyuk@gmail.com

Vinokurov A.V. — <https://orcid.org/0000-0001-8271-5920>; e-mail: av@privatenap.ru

Dorokhov V.B. — <https://orcid.org/0000-0003-3533-9496>; e-mail: vbdorokhov@mail.ru

To cite this article:

Shumov DE, Yakovenko IA, Alipov NN, Bakaeva ZV, Yakunina EB, Minyuk AN, Vinokurov AV, Dorokhov VB. The effect of music containing binaural beats on daytime fall-asleep dynamics. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2019;119(11):39-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro201911911139>

Биения — это объективное физическое явление, возникающее при наложении двух колебательных процессов близкой частоты. В психоакустике различают «бинауральные» и «монауральные», или акустические, биения. Акустические низкочастотные биения проще всего услышать, если 2 электрических сигнала с постоянной, но немного отличающейся частотой (например, 200 и 204 Гц) смешать и подать в звуковой преобразователь (динамик). В результате мы услышим периодическое нарастание и спад громкости звука на разностной частоте (в данном случае 4 Гц). Но если подать те же сигналы раздельно в каждое ухо (с использованием стереонаушников), тогда одно ухо будет слышать тон с частотой 200 Гц, а другое — 204 Гц. В этом случае мы тоже ощутим биения с частотой 4 Гц, но иметь они будут уже иную природу. Такие биения называются бинауральными (ББ), а средняя между каналами частота звуковых колебаний (в данном случае 202 Гц) — производящей, или «несущей» частотой.

Отметим, что словосочетания «бинауральные биения в звуке» или «звук с бинауральными биениями» не совсем корректны, поскольку, во-первых, речь идет не об одном, а о двух звуках, во-вторых, нельзя сказать, что данное явление объективно заложено в этих звуках: человек ощущает ББ не внешними органами чувств (ухо), а «внутри головы». Кроме того, степень восприимчивости к ББ зависит от уровня внимания к ним слушателя [1], а некоторые люди, например, страдающие болезнью Паркинсона, вообще не способны их ощутить [2].

Самая очевидная разница между ББ и монауральными биениями состоит в том, что ББ слышимы только в случае низких несущих частот. Оптимальным для их восприятия считается диапазон от 200 до 900 Гц, хотя, по данным последних исследований [3], отчетливо различаются человеком ББ с несущей частотой вплоть до 1400 Гц. Что касается частоты самих ББ, то они ощущаются в диапазоне от 2 до 35 Гц.

Существует гипотеза, согласно которой ББ могут существенно менять спектр электроэнцефалограммы (ЭЭГ) человека по аналогии с навязыванием ритма при фотостимуляции. Она весьма перспективна, учитывая общепризнанное соответствие традиционных спектральных диапазонов

ЭЭГ, таких как дельта (0,5—4 Гц), тета (4—8 Гц), альфа (8—13 Гц), бета (13—30 Гц) и гамма (от 30 Гц и выше), определенным когнитивным функциям [4] и уровню бодрствования. В случае ее справедливости мы имели бы эффективное неинвазивное средство улучшения когнитивных функций и коррекции расстройств сна посредством навязывания при помощи ББ нужного ритма ЭЭГ-активности мозга [5].

Проблема в том, что регистрируемый приборами отклик ЭЭГ на стимуляцию ББ несопоставимо слабее, чем отклик на фотостимуляцию. Кроме того, этот отклик получен только в виде вызванной активности ЭЭГ, т.е. усредненной реакции на множество коротких, до 2 с, стимулов. Что же касается навязывания ритма ЭЭГ (т.е. резонансного отклика ЭЭГ на стимуляцию непрерывными ББ, что, собственно, и требуется для практического применения), то авторам известно единственное исследование [6], показавшее усиление тета-активности ЭЭГ после стимуляции ББ тета-диапазона. Однако последующие публикации [7, 8] не подтвердили этот результат. Найдена также единственная публикация о резонансном отклике на ББ в альфа-диапазоне [9], хотя никому из других исследователей [8, 10] подобного эффекта зафиксировать не удалось. Неудачей закончились и попытки обнаружить навязывание ритма ББ бета-диапазона [8, 10, 11]. Обнадешивает пока только гамма-область ЭЭГ, в которой достоверно было зафиксировано навязывание ритма как ББ, так и монауральными биениями [12].

Что касается влияния ББ на процесс засыпания и последующий сон человека, то имеются работы, в которых методом психологического тестирования [13], а также путем регистрации полисомнограммы [14, 15] получены данные о положительном влиянии ББ на скорость засыпания и качество сна. Если отталкиваться от вышеупомянутой гипотезы навязывания ритма, то засыпанию и поддержанию сна должны способствовать ББ тета- и дельта-диапазона, т.е. от 0,5 до 8 Гц, а также, возможно, их комбинации, поскольку процессы засыпания и сна сопровождаются усилением мощности указанных спектральных полос ЭЭГ. Кроме того, метаанализ [16] показал однозначную эффективность музыки для облегчения процесса засыпания. Поэтому логично предположить, что сочетание правильно подобранной

музыки с ББ тета- и дельта-диапазона также может способствовать засыпанию и улучшать сон; хотя в данном случае невозможно определить главенствующий фактор воздействия: музыка сама по себе тоже может обладать релаксирующим эффектом. Интерес к сочетанию с музыкой продиктован, в частности, распространением «капсул сна» для отдыха и психологической разгрузки офисных работников в дневное время, поскольку одним из факторов восстановления в такой «капсуле» является музыка.

Цель данного исследования — проверка гипотезы, что прослушивание музыки, производящей ББ тета- и дельта-диапазонов сокращает время засыпания, определяемое как латентность 2-й стадии сна, а также повышает устойчивость сна.

Материал и методы

Экспериментальная группа состояла из 21 студента медицинского университета (13 мужчин и 8 женщин от 18 до 22 лет ($M \pm m$: 20,1 \pm 0,7 года). Для данного исследования была использована авторская (написанная на заказ) электронная музыкальная композиция, длительностью 20 мин, с наложенными ББ 4 и 2 Гц. Из этого времени звучания первые 19 мин были «запрограммированы» для засыпания, а оставшееся время — для быстрого пробуждения. Каждый испытуемый участвовал в двух опытах, в одном из которых он засыпал под музыку (стимуляция), а в другом — без нее, в тишине (контроль). Порядок опытов контрбалансирован по выборке; при этом в результате случайного выбора у 13 человек из 21 первым по порядку был «контроль». Эксперимент с каждым участником проводили в дневное время, с 13 до 16 ч, с промежутком между двумя опытами не более 15 дней.

Состояние испытуемых перед опытом и после него оценивали при помощи опросника «САН»: самочувствие—активность—настроение [17].

В опытах с музыкой звук подавали через полноразмерные стереонаушники Bose QC-25 (чувствительность 97 Дб, сопротивление 32 Ом, с отключенной системой активного шумоподавления). Громкость звука в каждом опыте подбирали в зоне индивидуального комфорта; она составляла от 55 до 57 Дб уровня звукового давления.

Испытуемый находился в звукоизолированном светозащищенном помещении, при стабильной температуре 24 °С. В течение опыта вели запись с частотой дискретизации 500 Гц 16 каналов ЭЭГ, подключенных по монополярной схеме 10—20, с использованием высоко- и низкочастотного, а также режекторного фильтров (0,5, 35 и 50 Гц соответственно), а также электрокардиограммы (ЭКГ) и электроокулограммы (ЭОГ), при помощи беспроводного аппаратно-программного комплекса «Нейрополиграф 24» (ПО «Нейротех», Таганрог).

После наложения электродов испытуемый располагался на кушетке и первые 15 мин находился в горизонтальном положении. При этом следили, чтобы он не засыпал. Затем давали команду закрыть глаза и 3 мин вели фоновую регистрацию ЭЭГ, ЭКГ и ЭОГ. Далее включали музыку, а спустя 21 мин, по окончании музыки, испытуемого будили (если он заснул) и записывали еще 3 мин фона с закрытыми глазами.

В контрольных опытах схема была идентичной, за исключением того, что звук в наушники не подавали, а испытуемый находился 21 мин в тишине.

Для сравнения параметров сна все полисомнограммы испытуемых были визуально стадированы по критериям Американской ассоциации медицины сна [18] с эпохой анализа 30 с.

С каждым участником было подписано информированное согласие на участие в эксперименте.

Для статистической обработки данных использован пакет Statsoft Statistica 6.0.

Результаты

Латентность 2-й стадии сна (ЛС)

На основе данных стадирования для каждого испытуемого в каждом опыте была определена ЛС. Вторая стадия сна не наступила в контрольных опытах у 6 испытуемых из 21, в опытах со стимуляцией — у 3 из 21. В целях дальнейшего использования статистических методов сравнения ЛС для незаснувших испытуемых принималась равной времени опыта, т.е. 21 мин. Для остальных испытуемых среднее значение латентности \pm стандартное отклонение составило 8,9 \pm 5,8 мин в контроле (15 человек) и 7,9 \pm 2,8 мин со стимуляцией (18 человек). Нулевая гипотеза состояла в отсутствии влияния стимула на ЛС.

Для оценки влияния различных факторов, в первую очередь музыки с ББ, а также пола испытуемого и очередности опыта (т.е. что было первым: «контроль» или «стимуляция»), на ЛС был проведен дисперсионный анализ данных с повторными измерениями. Такие факторы, как пол испытуемого, очередность опыта, а также их взаимодействие, не вызвали статистически значимых различий ЛС между опытами со стимуляцией и контрольными. Не вызвал этих различий и фактор наличия музыки ($p=0,19$), равно как и его взаимодействие с двумя другими факторами (табл. 1).

Дополнительно нулевая гипотеза была проверена при помощи непараметрического критерия зависимых пар Уилкоксона, который также не позволил ее отвергнуть (см. табл. 1).

Анализ результатов выполнения теста САН

Для оценки влияния стимула на показатели самочувствия, активности и настроения испытуемых результаты выполнения ими теста САН были проанализированы с помощью 2 \times 3 дисперсионного анализа с повторными измерениями. В качестве зависимых переменных влияния в этом случае брали отношение индексов «С», «А», «Н», полученных после опыта, к их значениям до проведения опыта, как в серии со стимуляцией, так и в контрольной.

Результаты анализа показали отсутствие статистически значимого влияния музыки на субъективную оценку испытуемыми своего состояния (см. табл. 1).

Устойчивость сна

Несмотря на отсутствие статистически значимых отличий между опытами со стимуляцией и контролем по ЛС, отличия общей картины стадирования сна между ними очевидны (рис. 1). Визуальные отличия обусловлены тем, что в опытах со стимуляцией испытуемые реже просыпались, а участки сна у них были длиннее. Для статической оценки различий в подобных случаях используют статистический анализ выживания (например, при расстройствах дыхания во сне [19]) или регрессионную логистическую модель (например, при анализе воздействия на сон звуковых помех

Таблица 1. Оценка влияния различных факторов на ЛС и результаты теста САН

Table 1. Estimation of the effect of different factors on sleep latency (SL) and subjects' WAM test results

Фактор	ЛС		Самочувствие		Активность		Настроение	
	F	p	F	p	F	p	F	p
А. Проверка нулевой гипотезы об отсутствии влияния стимула (музыка с ББ), пола испытуемых и очередности опыта на ЛС и результаты теста САН с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями (2×3 гANOVA)								
Пол	0,913	0,353	0,087	0,772	0,065	0,802	0,924	0,35
Очередность	0,61	0,445	0,597	0,45	0,090	0,768	0,605	0,447
Пол* очередность	0,32	0,577	0,44	0,516	0,351	0,562	0,279	0,604
Стимул	1,859	0,191	0,006	0,94	0,226	0,64	1,778	0,2
Стимул*пол	0,09	0,768	0,000	0,995	0,057	0,813	0,087	0,771
Стимул*очередность	0,52	0,481	0,832	0,375	0,014	0,907	0,545	0,47
Б. Проверка нулевой гипотезы об отсутствии влияния стимула на ЛС с помощью критерия Уилкоксона для связанных пар								
Количество пар	T	Z	p					
21	63,5	1,268	0,205					

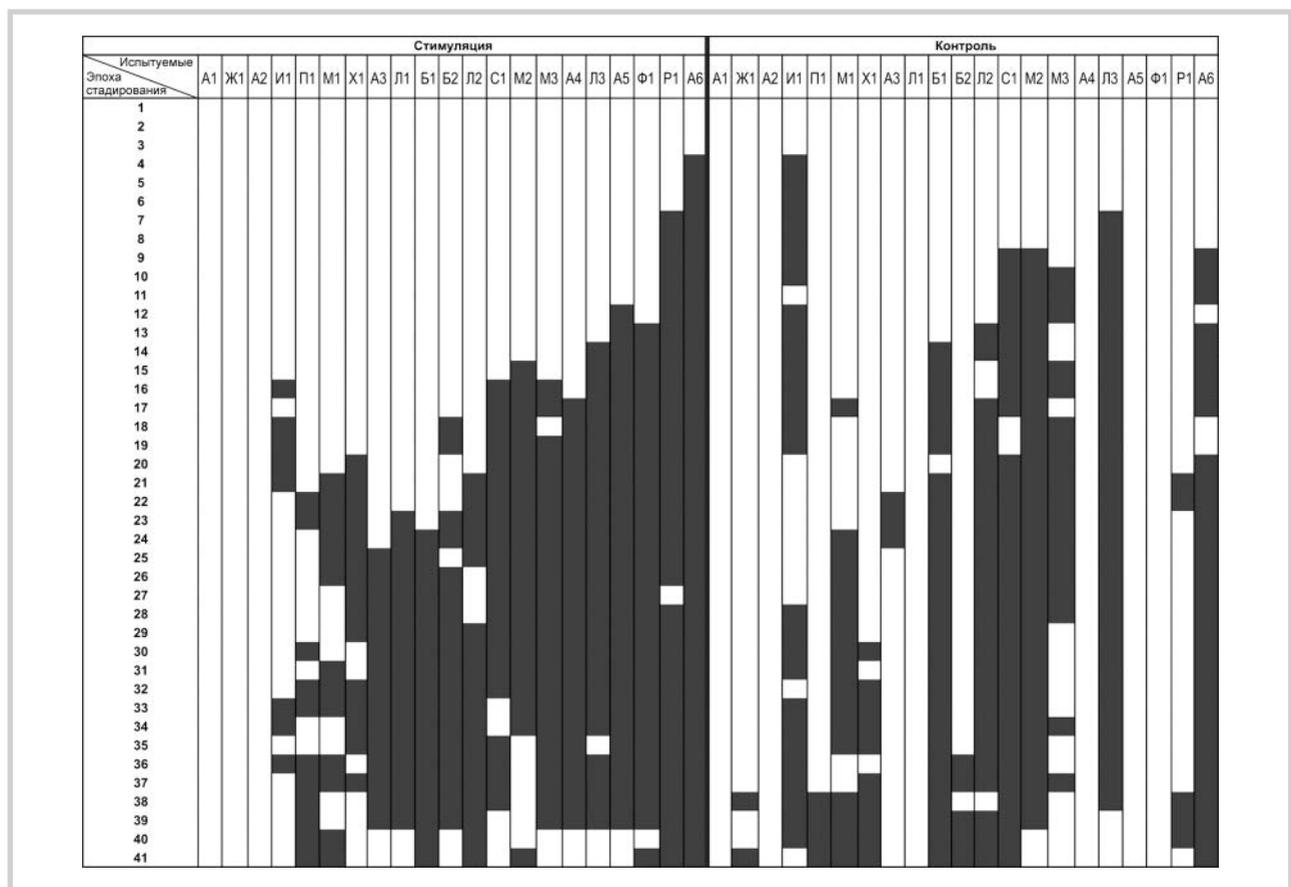


Рис. 1. Результаты стадирования сна испытуемых.

Белые клетки означают бодрствование и 1-ю стадию сна; черные — 2-ю и 3-ю стадии сна. В опытах со стимуляцией (левая половина рисунка) испытуемые ранжированы по возрастанию глубины сна. Визуально заметна более высокая доля 2-й и 3-й стадий сна в опытах со стимуляцией по сравнению с контролем.

Fig. 1. The results of subjects' sleep staging.

White cells signify waking and 1st sleep stage; black cells signify 2nd and 3rd sleep stages. For the stimulation attempts (left half of the picture) subjects are ranged by growing sleep depth. Higher proportion of 2nd and 3rd sleep stages is visually noticeable in stimulation attempts as compared to sham.

[20]). Последний подход был использован и в данном исследовании.

Была выбрана нелинейная логистическая модель, определяемая уравнением Ферхюльста:

$$P(t)=A/(1+\exp(B-C*t)) (*)$$

Изначально это уравнение описывает один из простейших сценариев роста численности популяции живых существ (P) в зависимости от времени (t), а его коэффициенты соответствуют предельно возможной численности популяции — «A»; скорости роста популяции — «C»; коэффициент «B» связан с отношением начальной и конечной

Таблица 2. Оценка коэффициентов регрессии уравнения Ферхюльста по методу наименьших квадратов Левенберга—Марквардта
 Table 2. Estimation of regression coefficients for Verhulst equation

Стимул			Контроль		
коэффициент	оценка	ст. ошибка	коэффициент	оценка	ст. ошибка
A1	15,1	0,273	A2	8,82	0,278
B1	4,75	0,405	B2	2,55	0,406
C1	0,641	0,056	C2	0,523	0,084
t(A1—A2), df=76	16,17		P(H0: A1=A2)	<10 ⁻²⁵ *	
t(B1—B2), df=76	3,84		P(H0: B1=B2)	0,0003*	
t(C1—C2), df=76	1,17		P(H0: C1=C2)	0,24	

Примечание. * — статистически значимые различия между стимуляцией и контролем.
 Note. * — statistically significant differences between stimulation and control.

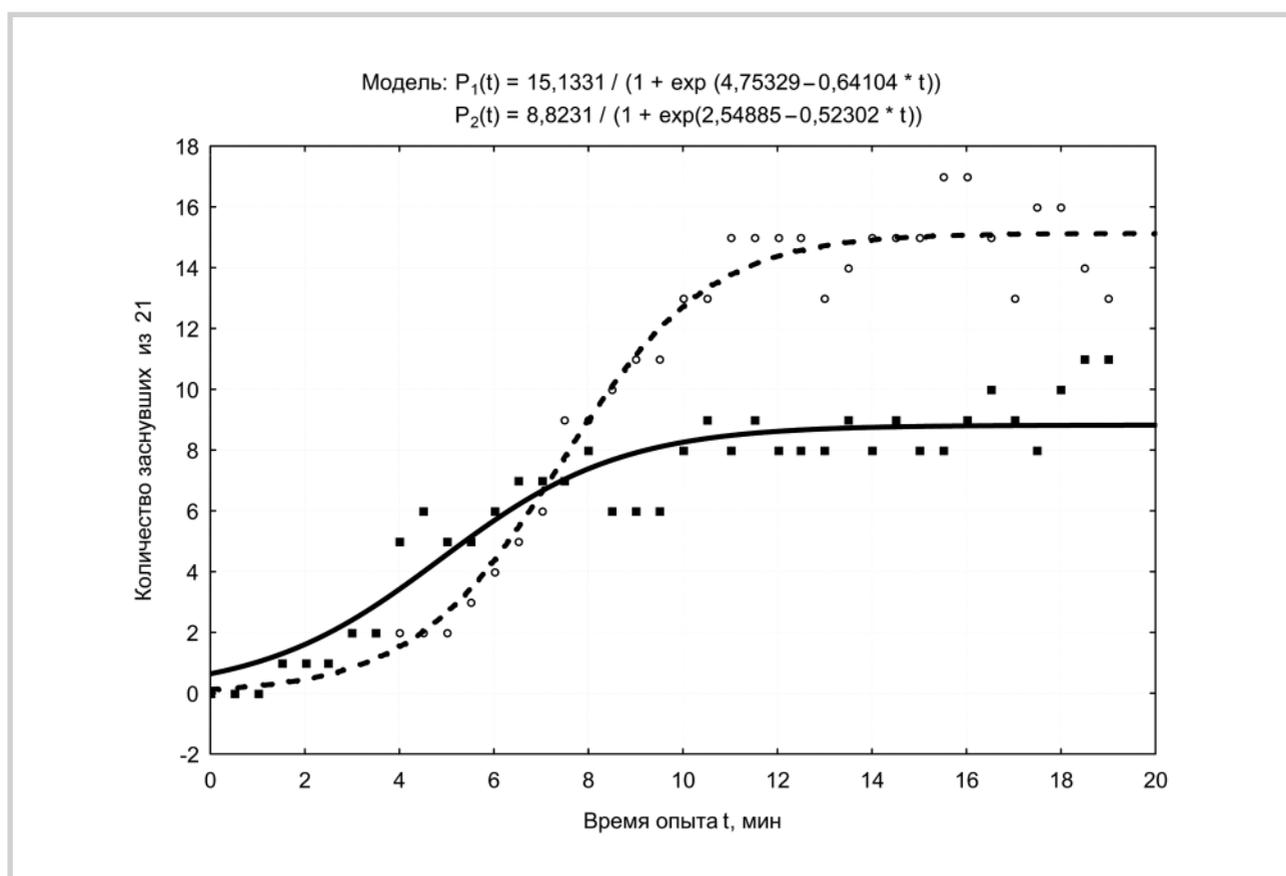


Рис. 2. Сравнение числа испытуемых, находившихся на 2-й и 3-й стадиях сна, в опытах со стимуляцией (разброс данных — кружки, модель — P₁, пунктир) и в контроле (разброс данных — квадраты, модель — P₂, сплошная линия).

Fig. 2. The number of subjects remained on 2nd and 3rd sleep stages in stimulation attempts (scatterplot — circles, model — P₁, dotted line) as compared to sham attempts (scatterplot — squares, model — P₂, solid line).

численностей популяции. В нашем случае логично соотнести «P» с числом заснувших испытуемых (находящихся на 2-й и 3-й стадиях сна) к моменту времени t, «A» — с максимально возможным числом заснувших испытуемых в данных условиях опыта; «C» — со скоростью засыпания; «B» — связать с уровнем сонливости испытуемых на начало опыта.

В соответствии с этой моделью на каждой 30-секундной эпохе стадирования в интервале с 1-й по 20-ю минуту подсчитывали суммарное число испытуемых P, находившихся на 2-й или 3-й стадии сна (т.е. количество черных клеток в каждой строке рис. 1). Далее, коэффициенты

нелинейной регрессии A, B и C уравнения (*) оценивали по методу наименьших квадратов Левенберга—Марквардта. Результаты оценки приведены в табл. 2. Соответствующие регрессионные кривые и разброс данных показаны на рис. 2.

Обсуждение

Гипотеза об уменьшении ЛС при помощи музыки, производящей ББ тета- и дельта-диапазона, в данном исследовании не подтвердилась, хотя результаты пилотного исследования [15] показали достоверное уменьшение ЛС под

влиянием монотонного звука с ББ тех же частот. Возможно, это связано с разными экспериментальными протоколами этих двух исследований, в том числе с отличиями стимула.

Что касается положительного влияния использованной в исследовании музыки на устойчивость дневного сна, то оно достоверно подтвердилось. Так, среднее число испытуемых, находившихся на 2-й и 3-й стадиях сна примерно с 10-й по 20-ю минуту опыта, которое определяется коэффициентом А в уравнении (*), составило 15 человек в случае стимуляции против 9 в контрольной серии. Различия

скорости засыпания (коэффициент С) оказались не значимы (см. табл. 2), что согласуется с отсутствием достоверных различий латентности сна в опытах со стимуляцией и в контрольных опытах (см. табл. 1).

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант №16-06-01054/17-ОГОН).

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.**

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Schwarz DWF, Taylor P. Human auditory steady state responses to binaural and monaural beats. *Clinical Neurophysiology*. 2005;116(3):658-668. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.09.014>
- Oster G. Auditory beats in the brain. *Scientific American*. 1973;229(4):94-103. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1073-94>
- Pasqual AM, Yehia HC, Vieira MN. A Psychoacoustical Evaluation of the Frequency Influence on the Human Binaural-Beat Perception. *Acta Acustica united with Acustica*. 2017;103(5):892-895. <https://doi.org/10.3813/aaa.919117>
- Herrmann CS, Strüber D, Helfrich RF, Engel AK. EEG oscillations: from correlation to causality. *International Journal of Psychophysiology*. 2016;103:12-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.02.003>
- Huang TL, Charyton C. A comprehensive review of the psychological effects of brainwave entrainment. *Altern Ther Health Med*. 2008;14:38-49.
- Brady B, Stevens L. Binaural-beat induced theta EEG activity and hypnotic susceptibility. *American Journal of Clinical Hypnosis*. 2000;43(1):53-69. <https://doi.org/10.1080/00029157.2000.10404255>
- Wahbeh H, Calabrese C, Zwickey H. Binaural beat technology in humans: a pilot study to assess psychologic and physiologic effects. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*. 2007;13(1):25-32. <https://doi.org/10.1089/acm.2006.6196>
- Gao X, Cao H, Ming D, Qi H, Wang X, Wang X, Zhou P. Analysis of EEG activity in response to binaural beats with different frequencies. *International Journal of Psychophysiology*. 2014;94(3):399-406. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.10.010>
- Kasprzak C. Influence of binaural beats on EEG signal. *Acta physica polonica A*. 2011;119(6):986-990. <https://doi.org/10.12693/aphyspola.119.986>
- Vernon D, Peryer G, Louch J, Shaw M. Tracking EEG changes in response to alpha and beta binaural beats. *International Journal of Psychophysiology*. 2014;93(1):134-139. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.10.008>
- Goodin P, Ciorciari J, Baker K, Carrey AM, Harper M, Kaufman J. A high-density EEG investigation into steady state binaural beat stimulation. *PLoS one*. 2012;7(4):e34789. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034789>
- Ross B, Miyazaki T, Thompson J, Jamali S, Fujioka T. Human cortical responses to slow and fast binaural beats reveal multiple mechanisms of binaural hearing. *Journal of Neurophysiology*. 2014;112(8):1871-1884. <https://doi.org/10.1152/jn.00224.2014>
- Abeln V, Kleinert J, Strüder HK, Schneider S. Brainwave entrainment for better sleep and post-sleep state of young elite soccer players — A pilot study. *European Journal of Sport Science*. 2014;14(5):393-402. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.819384>
- Jirakittayakorn N, Wongsawat YA. Novel Insight of Effects of a 3-Hz Binaural Beat on Sleep Stages During Sleep. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2018;12:387. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00387>
- Shumov DE, Arsen'ev GN, Sveshnikov DS, Dorokhov VB. Comparative analysis of the effect of the stimulation with binaural beat and similar kinds of sound on falling asleep process: a brief note. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. 2017;72(1):33-36. <https://doi.org/10.3103/s0096392517010047>
- De Niet G, Tiemens B, Lendemeijer B, Hutschemaekers G. Music-assisted relaxation to improve sleep quality: meta-analysis. *Journal of Advanced Nursing*. 2009;65(7):1356-1364. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2009.04982.x>
- Доскин В.А., Лаврентьева Н.А., Мирошников М.П., Шарай В.Б. Тест дифференциальной самооценки функционального состояния. *Вопросы психологии*. 1973;6:141-146. Doskin VA, Lavrentyeva LS, Miroshnikov MP, Sharay VB. Test for differential self-assessment of functional state. *Psychology Issues*. 1973;6:141-146. (In Russ.)
- Berry RB, Brooks R, Gamaldo CE, Harding SM, Marcus CL, Vaughn BV. *The AASM manual for the scoring of sleep and associated events*. Rules, Terminology and Technical Specifications, Darien, Illinois, American Academy of Sleep Medicine. 2012.
- Norman RG, Scott MA, Ayappa I, Walsleben JA, Rapoport DM. Sleep continuity measured by survival curve analysis. *Sleep*. 2006;29(12):1625-1631. <https://doi.org/10.1093/sleep/29.12.1625>
- Anderson GS, Miller NP. Alternative analysis of sleep-awakening data. *Noise Control Engineering Journal*. 2007;55(2):224-245. <https://doi.org/10.3397/1.2711617>

Поступила 13.06.19

Received 13.06.19

Принята к печати 11.06.19

Accepted 11.06.19