

## ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УДК 612.821.7

**Стационарный слуховой ответ на музыку  
на основе бинауральных биений во время дневного сна****Д.Е. Шумов\* , О.Н. Ткаченко, И.А. Яковенко, В.Б. Дорохов**

*Лаборатория нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии,  
Российская академия наук, Россия, 117485, г. Москва, ул. Бултерова, д. 5а  
\*e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru*

Музыка на основе бинауральных биений (ББ) является одним из перспективных средств неинвазивной терапии инсомнии. В работе проверялась гипотеза о резонансном механизме воздействия такой музыки на ритмы электроэнцефалограммы человека как физиологическом механизме улучшения сна. В группе из 21 испытуемого сравнивали спектр стационарного слухового ответа в процессе засыпания в сопровождении музыки на основе ББ с частотами 2 Гц и 4 Гц (стимул) и в отсутствие стимула (контроль). Для этих двух условий обнаружены достоверные различия мощности стационарного слухового ответа на частоте ЭЭГ 14 Гц (частота «сонных веретен»). Однако на частотах 2 Гц и 4 Гц, которые, согласно гипотезе, должны придавать сомногенный эффект музыкальному стимулу, достоверных различий не обнаружено. Полученные результаты не поддерживают гипотезу о резонансном воздействии исследованного стимула на сон, но подтверждают сделанный в предыдущей работе авторов вывод о том, что он улучшает качество дневного сна.

**Ключевые слова:** бинауральные биения, дневной сон, засыпание, музыка, навязывание ритма, стационарный слуховой ответ, инсомния

Музыка является одним из эффективных методов терапии инсомнии, набирающим популярность в последние годы благодаря отсутствию у нее побочных эффектов [1–3].

Согласно опросам [4] примерно 25% людей используют музыку в качестве средства, облегчающего засыпание. Влиянию музыки на процесс сна посвящены научные обзоры [3, 5–8]. В последнем из них выделены 6 возможных причин (гипотез) улучшения сна посредством прослушивания музыки: расслабление, отвлечение, эффект резонанса, эффект маскировки неблагоприятного звукового фона, приятные эмоциональные ассоциации, культурные ожидания.

Третья из приведенных гипотез («эффект резонанса»), которую можно рассматривать как частный случай более широкой гипотезы под названием «brainwave entrainment», подразумевает резонансное взаимодействие ритмического компонента музыки с ритмами электроэнцефалограммы (ЭЭГ) мозга и, как следствие, предсказуемое воздействие на уровень бодрствования человека. Обычно в музыке используется сравнительно медленный ритм, который не превышает по частоте верхнюю границу дельта-ритма ЭЭГ 4 Гц, характерного для медленноволнового сна. Поэтому в соответствии с вышеупомянутой гипотезой ритмичная музыка может быть неинвазивным средством улучшения сна. Ритм музыки

может быть явным, например, при наличии активной партии ударных инструментов, или неявным, как у музыки на основе бинауральных биений (ББ). ББ представляют собой психоакустическую иллюзию пульсации звука, возникающую при предъявлении отдельно в правое и левое ухо двух несильно отличающихся по частоте (примерно до 30 Гц) монотонных акустических сигналов. Например, если один из сигналов имеет частоту 200 Гц, а другой – 204 Гц, то будут ощутимы биения с частотой 4 Гц. В отличие от обычных акустических, или моноауральных, биений (далее – МБ), у ББ отсутствует физический носитель. Привлекательность звуковых стимулов на основе ББ для терапии нарушений сна заключается в том, что человек может ощутить их воздействие при очень малой громкости звука, по сути граничащей с порогом слуха [9], т.е. такой стимул создает мало помех для сна. Но воздействие ББ на сон изучено недостаточно; особенно это касается объективных исследований, выполненных на основе анализа физиологических параметров, – ЭЭГ и электрокардиограммы. На данный момент можно найти считанные работы, удовлетворяющие этим требованиям [10–13].

У вышеупомянутой гипотезы «резонанса» есть недостатки. Нетрудно заметить, что она состоит из двух связанных предположений, первое из которых – частный случай эффекта, хорошо извест-

ного как «навязывание ритма ЭЭГ» под воздействием периодических сенсорных стимулов. Возможность навязывания ритма ЭЭГ с помощью паттернов, используемых в музыке, показана в одной из работ [14]. Однако эффективность усвоения ритма – в данном случае, музыкального – может сильно отличаться для разных условий опыта. В каких-то условиях ритм может совсем не усваиваться, в каких-то – усваиваться хорошо, и эти условия остаются предметом исследований. Это первый недостаток.

Кроме того, изменения в спектре ЭЭГ вследствие усвоения ритма могут быть не только на частоте стимула. Они могут иметь место и на других резонансных частотах спектра ЭЭГ, которые совсем не характерны для сна, поскольку выходят за пределы требуемого тета- и дельта-диапазона (т.н. «кросс-частотный» эффект ББ [15, 16]). Соответственно, улучшения сна в результате усвоения ритма не произойдет. Это второй недостаток.

В силу вышесказанного, область применимости гипотезы «резонанса» – по крайней мере, для звуковых стимулов, предъявляемых во сне – на данный момент не ясна. Например, в одном пилотном исследовании [10] показано, что латентность 2-й стадии сна при засыпании в сопровождении монотонного звука с ББ ниже, чем при засыпании в сопровождении идентичного звука, но с МБ. Этот факт сложно объяснить с позиций «навязывания ритма», поскольку усвоение ритма от ББ хуже, чем от МБ [15, 17]. С другой стороны, есть исследование воздействия ББ 3 Гц на 3-ю стадию медленного сна, результаты которого вполне объяснимы «навязыванием ритма» [11].

Настоящее исследование посвящено проверке частного случая гипотезы «резонанса», связанного с воздействием на дневной сон скрытого ритма музыки в виде медленных ББ – 2 Гц и 4 Гц, – соответствующих дельта-ритму ЭЭГ. В качестве ритмической основы музыки были выбраны именно ББ, а не МБ, поскольку согласно некоторым данным [10] такая стимуляция более эффективно снижает латентность сна. Для проверки гипотезы была выбрана методика анализа стационарного слухового ответа (ССО, англ. ASSR – «Auditory Steady State Response»). ССО представляет собой приборно регистрируемый (с помощью ЭЭГ или магнитоэнцефалограммы) ответ мозга на частотно-специфические звуковые стимулы, непрерывно звучащие в течение достаточно длительного промежутка времени; при этом составляющие частотные компоненты стимулов должны оставаться постоянными по амплитуде и фазе [18]. В случае сложного стимула, например, биений, ССО повторяет их огибающую и таким образом влияет на фоновую ЭЭГ-активность [19]. В отличие от обычных слуховых вызванных потенциалов, для описания которых используются

параметры амплитуды и латентности отдельных их компонентов, в случае ССО принято использовать амплитудно-частотные и фазовые характеристики спектра. Чаще всего данная методика применяется в отоларингологии, поскольку позволяет объективно оценить слуховую чувствительность как у людей с нормальным слухом, так и с различными его нарушениями.

### Материалы и методы

Экспериментальная группа состояла из 21-го студента медицинского университета (12 мужчин и 9 женщин в возрасте от 18 до 22 лет; средний возраст  $20,1 \pm 0,7$  года). С каждым участником было подписано информированное согласие на участие в эксперименте. Исследование соответствовало этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и одобрено этической комиссией Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН.

В качестве музыкального стимула была взята авторская (написанная на заказ) электронная композиция длительностью 20 мин с наложенными ББ 4 Гц и 2 Гц. Из этого времени звучания первые 19 мин были «запрограммированы» для засыпания, а оставшееся время – для быстрого пробуждения. Биения были наложены от начала фонограммы и по 19-ю мин включительно блоками длительностью 64 с. 20-я мин – без наложения ББ (табл. 1).

Таблица 1

**Расписанные по 64-секундным блокам параметры наложения бинауральных биений (ББ) на музыку. В средней части фонограммы, когда предполагалось снижение уровня бодрствования, амплитуда несущего тона снижена на 3 дБ. Начиная с 12-й мин, добавлены блоки ББ 2 Гц для углубления сна.**

Номер блока	Несущая частота ББ, левый/правый канал
1	330 / 334 Гц
2	440 / 444 Гц
3	330 / 334 Гц
4	440 / 444 Гц
5	330 / 334 Гц
6	440 / 444 Гц
7	330 / 334 Гц (-3 дБ)
8	440 / 444 Гц (-3 дБ)
9	330 / 334 Гц (-3 дБ)
10	220 / 224 Гц (-3 дБ)
11	165 / 167 Гц (-3 дБ)
12	220 / 224 Гц (-3 дБ)
13	165 / 167 Гц (-3 дБ)
14	220 / 224 Гц (-3 дБ)
15	165 / 167 Гц (-3 дБ)
16	220 / 224 Гц (-3 дБ)
17	165 / 167 Гц (-3 дБ)
18	220 / 224 Гц

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 был контрбалансирован по выборке; при этом, в результате случайного выбора, у 13 человек из 21 первым по порядку шел «контроль». Эксперименты проводили в дневное время, с 13 до 16 ч, с промежутком между двумя опытами не более 15 сут.

Стимул предъявляли 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 (*англ.* dB SPL).

Испытуемый находился в звукоизолированном светозащищенном помещении при стабильной температуре 24°C. В течение опыта регистрировали полисомнограмму (ПСГ) в составе 16 каналов ЭЭГ, подключенных по схеме 10–20 с 2 референтными электродами на правой и левой мастоидных костях, а также по одному каналу электрокардиограммы и электроокулограммы. Регистрацию вели при помощи беспроводного аппаратно-программного комплекса «Нейрополиграф 24» (ПО «Нейротех», Таганрог, Россия) с частотой дискретизации 500 Гц и с использованием высоко-, низкочастотного и режекторного фильтров (0,5 Гц, 35 Гц, и 50 Гц соответственно).

После наложения электродов испытуемый располагался на кушетке и первые 15 мин находился в горизонтальном положении с открытыми глазами. При этом следили, чтобы он не засыпал. Затем давали команду закрыть глаза и 3 мин вели фоновую регистрацию ПСГ. 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 эксперимента была идентичной за исключением того, что стимул не предъявляли, а испытуемый находился 21 мин в тишине.

Для вычисления ССО была использована процедура, аналогичная описанной в работе [15]. На ЭЭГ испытуемых — как контрольных, так и с предъявлением стимула — выделяли отрезок записи, начиная с 20-й с после начала музыки и до начала 20-й мин. Этот отрезок на каждой ЭЭГ был разбит на интервалы длительностью 1 с соответствующими метками, из которых, после визуального анализа, вручную были удалены интервалы с артефактами. В качестве источника сигнала были выбраны отведения ЭЭГ С3 и С4, поскольку они являются стандартными в сомнологических исследованиях и позволяют оценивать активность как передних, так и задних областей головного мозга. Сигнал ЭЭГ в отведениях С3 и С4 был дополнительно отфильтрован в диапазоне от 1 до

20 Гц и, при помощи последовательности команд в пакете Matlab, над ним произведены следующие операции:

1. Амплитудное усреднение безартефактных односекундных ЭЭГ-интервалов.

2. Вычисление с помощью дискретного преобразования Фурье, после линейного детрендинга, для каждого целого значения частоты ЭЭГ (переменная  $f$ ) в диапазоне от 2 до 20 Гц амплитуды  $A(f)$  спектра ЭЭГ в отведениях С3 и С4 — для всех 42 получившихся в п. 1 усреднений длительностью 1 с (21 испытуемый  $\times$  2 опыта).

3. Вычисление для каждого из 19 значений частоты  $f$  относительной мощности  $P_{отн}(f)$  как отношения квадрата соответствующего коэффициента Фурье  $A^2(f)$  к средней мощности сигнала ЭЭГ на 3-минутном фоновом участке записи  $\langle P_{фон} \rangle$ . Эту среднюю мощность вычисляли как сумму квадратов коэффициентов дискретного преобразования Фурье (п. 2 выше) сигнала, полученного усреднением (п. 1 выше) односекундных интервалов, на которые был разбит 3-минутный фоновый участок ЭЭГ, за вычетом интервалов с артефактами:

$$P_{отн}(f) = A^2(f) / \langle P_{фон} \rangle,$$

$$\text{где } \langle P_{фон} \rangle = \sum_{i=2}^{20} (A^2(i)_{фон}) / N; N = 19.$$

## Результаты и обсуждение

ПСГ испытуемых были визуальнo стадированы по критериям Американской академии медицины сна [20] с эпохой 30 с. Все испытуемые в серии со стимуляцией засыпали (на гипнограмме присутствовала по меньшей мере, 1-я стадия сна), а в контрольной серии у одного испытуемого признаков сна не было. В табл. 2 приведено сравнение средних значений показателей сна при стимуляции и в контрольной серии. Средняя длительность 1-й стадии сна при стимуляции значимо снижалась ( $t$ -критерий Стьюдента с уровнем значимости  $p = 0,015$ ).

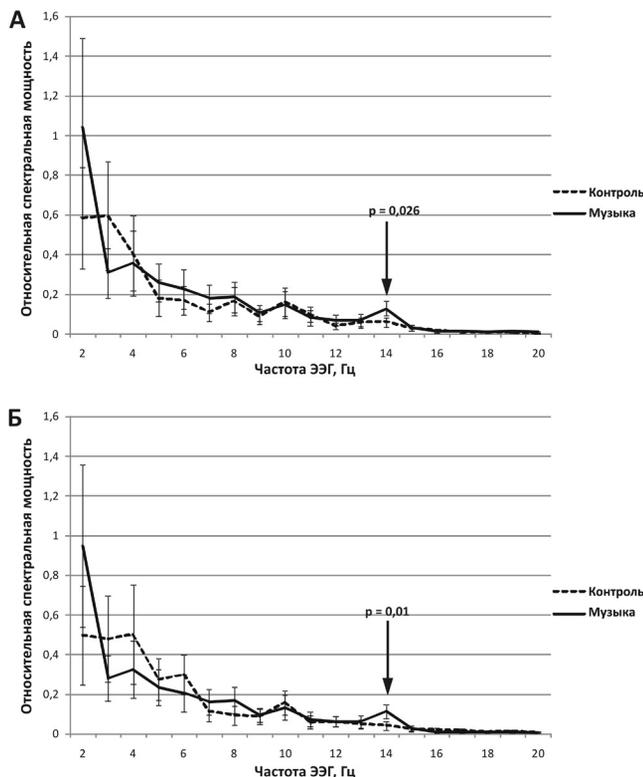
Таблица 2

Сравнение общих показателей дневного сна в условиях стимуляции и в контроле в исследованной группе испытуемых (среднее значение  $\pm$  стандартная ошибка, мин). Длительность 2-й и 3-й стадий сна указана суммарно, т.к. ввиду малой длительности опыта 3-я стадия наблюдалась не у всех испытуемых. Звездочкой и полужирным шрифтом обозначены достоверные различия ( $p < 0,05$ ).

Показатели сна	Стимул	Контроль
Общее время сна	14,52 $\pm$ 0,70	13,52 $\pm$ 1,24
Латентность 1-й стадии сна	3,79 $\pm$ 0,51	4,12 $\pm$ 1,11
<b>Длительность 1-й стадии сна</b>	<b>5,95 <math>\pm</math> 0,81*</b>	<b>7,60 <math>\pm</math> 1,01*</b>
Длительность 2-й и 3-й стадий сна	8,57 $\pm$ 1,10	5,93 $\pm$ 1,38

Для сравнения спектров ССО в условиях стимуляции и контроля для каждого целого значения частоты ЭЭГ (переменная  $f$ ) в диапазоне от 2 до

20 Гц была сформулирована нулевая гипотеза об отсутствии различий между соответствующими значениями относительной мощности спектра —  $P_{\text{отн}}(f)$ , — полученными в контрольных условиях, и аналогичными значениями, полученными в условиях стимула (музыки). Гипотеза была проверена с помощью двустороннего t-критерия Стьюдента для зависимых выборок после логарифмического преобразования значений  $P_{\text{отн}}(f)$ . Логарифмическое преобразование применено для придания данным распределения, близкого к нормальному. Кроме того, в данном случае оно отражает физиологические особенности оценки мозгом громкости звука, которую выражают логарифмом относительного звукового давления (децибелл). Уровень отклонения нулевых гипотез был принят  $p < 0,05$ .



**Рисунок.** Зависимость относительной спектральной мощности стационарного слухового ответа (ССО) от частоты ЭЭГ для отведений С3 (А) и С4 (Б). По оси абсцисс отложена частота ЭЭГ от 2 Гц до 20 Гц (переменная  $f$ ); по оси ординат — усредненное по всем испытуемым (геометрическое среднее) значение относительной спектральной мощности ССО —  $P_{\text{отн}}(f)$  (формулу расчета см. в тексте). Планки погрешностей соответствуют доверительному интервалу 95% ( $p=0,05$ ). Стрелками показаны достоверные различия между условиями стимула и контроля на частоте 14 Гц. Для остальных частот исследованного диапазона ЭЭГ различия  $P_{\text{отн}}(f)$  недостоверны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Trahan T., Durrant S.J., Müllensiefen D., Williamson V.J. The music that helps people sleep and the reasons they believe it works: A mixed methods analysis of online survey reports // PLoS One. 2018. Vol. 13. N 11: e0206531.
2. Picard L.M., Bartel L.R., Gordon A.S., Cepo D., Wu Q., Pink L.R. Music as a sleep aid in fibromyalgia // Pain Res. Manag. 2014. Vol. 19. N 2. P. 97–101.

Статистический анализ показал значимое увеличение  $P_{\text{отн}}$  на частоте 14 Гц в ЭЭГ-отведениях С3 и С4 в условиях стимуляции по сравнению с контролем (рисунок). Можно предположить, что это вызвано увеличением числа и амплитуды т.н. «сонных веретен», свойственных 2-й и 3-й стадиям сна, поскольку в исследованной возрастной группе наиболее вероятная спектральная частота «сонных веретен» составляет именно 14 Гц. Для остальных частот ЭЭГ от 2 до 20 Гц достоверных различий  $P_{\text{отн}}$  между условиями стимуляции и контроля не наблюдалось. Это относится, в том числе, к частотам 2 Гц и 4 Гц, заложенным в музыкальный стимул в виде ББ, что означает отсутствие предполагаемого резонансного воздействия данного стимула на ЭЭГ.

Таким образом, полученный результат не подтверждает упомянутую в начале статьи «гипотезу резонанса» как лежащую в основе механизма улучшения сна с помощью музыки на основе ББ. Однако в пользу данной гипотезы свидетельствуют результаты другой работы [14]. Расхождение можно объяснить низкой ощущаемой глубиной модуляции ББ [9] по сравнению с использованной в упомянутой работе [14] амплитудной модуляцией МБ. Также следует учесть невысокую, по сравнению с данными этой работы [14], громкость стимула (музыки), использованного в нашем исследовании, ограниченную во избежание пробуждающего эффекта.

С другой стороны, полученные результаты подтверждают вывод, сделанный в одной из наших работ [13], о том, что исследованная комбинация музыки и ББ улучшает качество дневного сна, поскольку наблюдаемое увеличение спектральной мощности ЭЭГ на частоте «сонных веретен» свидетельствует об увеличении доли 2-й и 3-й стадии сна. Это показывает и непосредственное сравнение длительности стадий: под влиянием стимула произошло перераспределение общего времени сна в сторону более глубоких его стадий (2-й и 3-й) за счет уменьшения длительности 1-й стадии.

Исследование выполнено на средства государственного бюджета (№АААА-А17-117092040002-6) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №19-013-00747а). Работа проведена с соблюдением этических норм и одобрено этической комиссией Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

3. Jespersen K.V., Koenig J., Jennum P., Vuust P. Music for insomnia in adults // Cochrane Db. Syst. Rev. 2015. N 8: CD010459.

4. Morin C.M., LeBlanc M., Daley M., Gregoire J.P., Merette C. Epidemiology of insomnia: prevalence, self-help treatments, consultations, and determinants of help-seeking behaviors // Sleep Med. 2006. Vol. 7. N 2. P. 123–130.

5. De Niet G., Tiemens B., Lendemeijer B., Hutschemaekers G. Music-assisted relaxation to improve sleep quality: meta-analysis // *J. Adv. Nurs.* 2009. Vol. 65. N 7. P. 1356–1364.
6. Feng F., Zhang Y., Hou J., Cai J., Jiang Q., Li X., Zhao Q., Li B-A. Can music improve sleep quality in adults with primary insomnia? A systematic review and network meta-analysis // *Int. J. Nurs. Stud.* 2018. Vol. 77. P. 189–196.
7. Wang C.-F., Sun Y.-L., Zang H.-X. Music therapy improves sleep quality in acute and chronic sleep disorders: a meta-analysis of 10 randomized studies // *Int. J. Nurs. Stud.* 2014. Vol. 51. N 1. P. 51–62.
8. Dickson G.T., Schubert E. How does music aid sleep? Literature review // *Sleep Med.* 2019. Vol. 63. P. 142–150.
9. Oster G. Auditory beats in the brain // *Sci. Am.* 1973. Vol. 229. N 4. P. 94–103.
10. Shumov D.E., Arsen'ev G.N., Sveshnikov D.S., Dorokhov V.B. Comparative analysis of the effect of stimulation with a binaural beat and similar kinds of sounds on the falling asleep process: A brief note // *Moscow Univ. Biol. Sci. Bull.* 2017. Vol. 72. N 1. P. 33–36.
11. Jirakittayakorn N., Wongsawat Y. A novel insight of effects of a 3-Hz binaural beat on sleep stages during sleep // *Front. Hum. Neurosci.* 2018. Vol. 12: 387.
12. Shumov D.E., Yakovenko I.A., Dorokhov V.B., Sveshnikov D.S., Yakunina E.B., Bakaeva Z.V., Vinokurov V.A., Putilov A.A. Napping between Scylla and Charybdis of N1 and N3: latency to N2 in a brief afternoon nap can be reduced by binaural beating // *Biol. Rhythm. Res.* 2021. Vol. 52. N 2. P. 227–236.
13. 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 // *Журн. неврол. психиатр. им. С.С. Корсакова.* 2020. Т. 120. № 2. С. 39–44.
14. Nozaradan S., Peretz I., Missal M., Mouraux A. Tagging the neuronal entrainment to beat and meter // *J. Neurosci.* 2011. Vol. 31. N 28. P. 10234–10240.
15. Perez H.D.O., Dumas G., Lehmann A. Binaural Beats through the auditory pathway: from brainstem to connectivity patterns // *Eneuro.* 2020. Vol. 7. N 2: ENEURO.0232-19.2020
16. Gao X., Cao H., Ming D., Qi H., Wang X., Wang X., Chen R., Zhou P. Analysis of EEG activity in response to binaural beats with different frequencies // *Int. J. Psychophysiol.* 2014. Vol. 94. N 3. P. 399–406.
17. Pratt H., Starr A., Michalewski H.J., Dimitrijevic A., Bleich N., Mittelman N. A comparison of auditory evoked potentials to acoustic beats and to binaural beats // *Hearing Res.* 2010. Vol. 262. N 1–2. P. 34–44.
18. Наумова И.В., Гадалева С.В., Пашков А.В. Стационарные слуховые потенциалы. Обзор литературы // *Росс. оториноларингол.* 2018. № 3. С. 115–129.
19. Picton T.W., John M.S., Dimitrijevic A., Purcell D. Human auditory steady-state responses: Respuestas auditivas de estado estable en humanos // *Int. J. Audiol.* 2003. Vol. 42. N 4. P. 177–219.
20. Berry R.B., Brooks R., Gamaldo C.E., Harding S.M., Lloyd R.M., Marcus C.L., Vaughn B.V. The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: Rules, terminology and technical specifications, Version 2.2. [www.aasmnet.org](http://www.aasmnet.org). Darien, Illinois: American Academy of Sleep Medicine, 2015.

Поступила в редакцию 15.08.2020 г.

После доработки 17.02.2021 г.

Принята в печать 08.04.2021 г.

## RESEARCH ARTICLE

# Auditory steady state response to the music with embedded binaural beats during daytime sleep

D.E. Shumov\* , O.N. Tkachenko, I.A. Yakovenko, V.B. Dorokhov

Laboratory of Sleep/Wake Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Butlerova ul. 5A, 117485, Moscow, Russia

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

Music with embedded binaural beats (BBs) is promising non-invasive tools for insomnia treatment. This work tests the hypothesis of “entrainment” effect of that kind of music on human EEG rhythm as physiological mechanism of sleep improvement. The spectrum of auditory steady state response has been compared in the group of 21 subjects during daytime sleep onset, with music embedded with BBs of 2 Hz and 4 Hz (stimulus condition) and without any stimulus (control condition). Significant difference in auditory steady state response power has been found between conditions at 14 Hz (“sleep spindle” frequency). However, no significant difference has been found at frequencies 2 Hz and 4 Hz embedded to add somnogenic feature to the music stimulus according to hypothesis tested. The results obtained do not support the hypothesis of “entrainment” effect of the stimulus examined on sleep; yet they support conclusion made in the previous authors’ paper that it improves daytime sleep quality.

**Keywords:** *binaural beats, daytime sleep, falling asleep, music, neural entrainment, auditory steady state response, insomnia*

**Funding:** This study was performed under the state assignment of Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, project number AAAA-A17-117092040002-6, and was funded by Russian Foundation for Basic Research, project number 19-013-00747a.

#### **Сведения об авторах**

*Шумов Дмитрий Ефимович* – канд. биол. наук, мл. науч. сотр. лаборатории нейробиологии сна и бодрствования Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Тел.: 8-495-334-72-00; e-mail: [dmitry-shumov@yandex.ru](mailto:dmitry-shumov@yandex.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5755-5563>

*Ткаченко Ольга Николаевна* – канд. биол. наук, науч. сотр. лаборатории нейробиологии сна и бодрствования Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Тел.: 8-495-334-72-00; e-mail: [tkachenkoon@gmail.com](mailto:tkachenkoon@gmail.com)

*Яковенко Ирина Анатольевна* – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории нейробиологии сна и бодрствования Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Тел.: 8-495-334-72-0; e-mail: [irinayakovenko@mail.ru](mailto:irinayakovenko@mail.ru)

*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](mailto:vbdorokhov@mail.ru)