Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова
2023, т. 123, №4, с. 109–113
https://doi.org/10.17116/jnevro2023123041109

S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry
2023, vol. 123, no. 4, pp. 109–113
https://doi.org/10.17116/jnevro2023123041109

Влияние бинауральных и монауральных биений в структуре монотонного звукового стимула на латентность сна

© Д.Е. ШУМОВ[1], Д.С. СВЕШНИКОВ[2], З.В. БАКАЕВА[2], В.Б. ДОРОХОВ[1]

[1]ФБГУ «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН», Москва, Россия;
[2]Медицинский институт ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

Резюме

Цель исследования. Проверка на большой группе испытуемых гипотезы о том, что латентность сна (ЛС) не зависит от характера (монауральные (МБ) или бинауральные (ББ)) низкочастотных биений, присущих монотонному звуковому стимулу, предъявляемому в процессе засыпания.

Материал и методы. В целях данного исследования было написано специальное приложение для ОС «Андроид», установленное на индивидуальные смартфоны 221 испытуемого. С каждым из них было проведено по 3 опыта с тремя разными видами монотонного звука, предъявленными по контрбалансированной схеме, которые были идентичны по высоте тона, но отличались наличием и видом биений: ББ, МБ и контроль (звук без биений).

Результаты. Дисперсионный анализ с повторными измерениями (rANOVA) показал отсутствие статистически значимого влияния вида стимула на ЛС (p=0,21). Попарное сравнение ЛС для различных условий стимуляции показало уровень достоверности нулевой гипотезы с поправкой на множественность сравнений p=1,0. Таким образом, в данном эксперименте ЛС не зависела значимо от вида монотонного звукового стимула: МБ, ББ или контроль.

Заключение. Разработанное программное приложение полезно как универсальная платформа для оценки в домашних условиях воздействия различных внешних факторов на процесс засыпания.

Ключевые слова: *бинауральные биения, приложения для смартфона, инсомния, латентность сна.*

Информация об авторах:
Шумов Д.Е. — https://orcid.org/0000-0002-5755-5563
Свешников Д.С. — https://orcid.org/0000-0002-1050-7871
Бакаева З.В. — https://orcid.org/0000-0001-7795-0897
Дорохов В.Б. — https://orcid.org/0000-0003-3533-9496
Автор, ответственный за переписку: Шумов Д.Е. — e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru

Как цитировать:
Шумов Д.Е., Свешников Д.С., Бакаева З.В., Дорохов В.Б. Влияние бинауральных и монауральных биений в структуре монотонного звукового стимула на латентность сна. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2023;123(4):109–113. https://doi.org/10.17116/jnevro2023123041109

Monotonous sound stimuli embedded with either binaural or monaural beats have the same effect on sleep latency: study on a large subject group

© D.E. SHUMOV[1], D.S. SVESHNIKOV[2], Z.V. BAKAEVA[2], V.B. DOROKHOV[1]

[1]Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Moscow, Russia;
[2]Medical Institute of Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Abstract

Objective. The aim of this study was to test on a large group of subjects the hypothesis that sleep latency (SL) does not depend on the nature of low-frequency beats embedded into monotonous sound stimulus supplied through the fall-asleep process. Specifically, it does not depend on whether those beats are monaural (MB) or binaural (BB).

Material and methods. A special application for Android OS was developed and installed on the individual smartphones of 221 subjects for the purpose of the study. Three attempts were performed with each of them using 3 different kinds of monotonous sound supplied according to counterbalanced design. Three kinds of sound were identical in pitch but differed in the beat presence and type: BB, MB or sham (sound without beats).

Results. Repeated measures analysis of variance (rANOVA) revealed no significant statistical effect of stimulus type on SL (p=0.21). A pairwise comparison of SL for different stimulation conditions showed the null hypothesis significance level adjusted according to multiple comparison correction to be p=1.0. Thus, in this experiment SL did not significantly depend on the monotonous sound stimulus type: MB, BB, or sham.

Conclusion. The software application developed is useful as universal platform to assess at home conditions the impact of various external factors on fall-asleep process.

Keywords: *binaural beats, smartphone applications, insomnia, sleep latency.*

Information about the authors:
Shumov D.E. — https://orcid.org/0000-0002-5755-5563
Sveshnikov D.S. — https://orcid.org/0000-0002-1050-7871
Bakaeva Z.V. — https://orcid.org/0000-0001-7795-0897
Dorokhov V.B. — https://orcid.org/0000-0003-3533-9496
Corresponding author: Shumov D.E. — e-mail: dmitry-shumov@yandex.ru

To cite this article:
Shumov DE, Sveshnikov DS, Bakaeva ZV, Dorokhov VB. Monotonous sound stimuli embedded with either binaural or monaural beats have the same effect on sleep latency: study on a large subject group. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal nevrologii i psikhiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2023;123(4):109–113. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/jnevro2023123041109

В поиске средств для улучшения сна в настоящее время исследуют в том числе «неинвазивные» средства, которые, как следует из названия, не связаны с проникновением внутрь человеческого организма. К ним принадлежат средства на основе звуковых стимулов. Например, давно и широко обсуждается тема воздействия музыки на сон как одного из вариантов таких стимулов. Но музыка — сложный стимул, содержащий целый набор потенциальных факторов воздействия. В литературе таких факторов упомянуто 6, каждый из которых желательно исследовать изолированно, чтобы понять его эффективность [1]. В качестве одного из факторов упоминается эффект резонанса, или навязывание ритма (НР, *англ*. «brainwave entrainment») электроэнцефалограммы (ЭЭГ), посредством звуковых биений. Причем биения могут быть двух видов: периферические (так называемые монауральные — МБ) и центральные (так называемые бинауральные — ББ); они различаются по месту возникновения в мозге и по методу предъявления порождающих их звуковых стимулов [2]. ББ — это слуховая иллюзия, возникающая при подаче двух близких по высоте звуков в каждое ухо по отдельности. Согласно имеющимся исследованиям [2, 3], НР в состоянии бодрствования при помощи как МБ, так и ББ проявляется схожим образом. Это касается и амплитуды, и распределения в коре головного мозга стационарного слухового ответа (ССО, *англ*. «auditory steady state response») на эти 2 вида биений. Поэтому можно предположить, что обусловленное НР воздействие МБ и ББ одной и той же частоты на сон принципиально не отличается. Следовательно, временны́е характеристики, такие как латентность сна (ЛС), в условиях предъявления МБ и ББ одинакового спектра отличаться не должны.

Тем не менее среди потребительской продукции в виде аудиозаписей и программных приложений для воздействия в том числе на сон ББ традиционно отводится особое место по сравнению с другими видами звуковой стимуляции. Теоретически это возможно, поскольку у сформулированной выше гипотезы об идентичности воздействия ББ и МБ на сон действительно имеются слабые места, связанные с ее применением к нестационарным процессам. Например, ССО на аудиостимулы с ББ или МБ может изменяться по-разному в процессе засыпания. Снижение амплитуды ССО в процессе засыпания показано для ряда частот МБ (в частности, 4, 6, 8 Гц) [4], но что касается ББ, то аналогичные изменения ССО пока не исследованы. Возможно, характер изменений ССО под воздействием ББ в процессе засыпания иной, чем от МБ.

Кроме того, обусловленный НР отклик ЭЭГ может иметь место не только на самой частоте биений, но и на других резонансных частотах спектра ЭЭГ, которые совсем не характерны для сна, поскольку выходят за пределы требуемых тета- и дельта-диапазонов [4, 5]. И данный эффект может тоже по-разному проявляться при засыпании в сопровождении стимулов на основе ББ и МБ.

В соответствии с вышесказанным существует вероятность, что временны́е характеристики сна, в том числе ЛС, на фоне предъявления аудиостимулов на основе ББ все-таки будут отличаться от аналогичных характеристик при предъявлении МБ. В пользу этого свидетельствуют результаты пилотного исследования [6], где показано, что ЛС, определяемая по наступлению признаков 2-й стадии сна, при засыпании на фоне монотонного аудиостимула на основе ББ достоверно ниже, чем в случае идентичного по спектру стимула, но на основе МБ. Тем не менее в указанном исследовании приняли участие всего 14 человек, и его выводы нуждаются в подтверждении.

Цель данного исследования — проверка на большой группе испытуемых высказанной выше нулевой гипотезы о том, что средние значения ЛС при засыпании в сопровождении аудиостимулов на основе ББ и МБ не отличаются.

Материал и методы

В исследовании принял участие 221 студент медицинского факультета РУДН (84 мужчины, 137 женщин в возрасте от 17 лет до 31 года, средний — 19,6±2,0 года). С каждым из них проведено по 3 наблюдения в интервале с 21 до 24 ч. Исследовалась имитация начала естественного ночного сна. Каждый участник должен был предварительно прислать запрос на участие, после чего его регистрировали в базе данных. В базу вносили имя, идентификационный номер, пол и возраст испытуемого, а также сгенерированную для него случайным образом последовательность из 3 аудиостимулов: монотонный звук (контроль), МБ, ББ. Таких последовательностей может быть 6. После регистрации в базе данных испытуемому высылали ссылку на одно из 3 приложений, которое воспроизводило один из 3 вышеупомянутых аудиостимулов. Испытуемый должен был установить это приложение на личное устройство, работающее под управлением ОС «Андроид».

Каждый аудиостимул представлял двухканальную запись звука длительностью 1 ч, состоящего из так называемого розового шума с наложением 1 (контроль) или 2 (МБ и ББ) синусоидальных сигналов. «Розовый» шум в данном случае — это акустический шум, спектральная плотность которого затухала с увеличением частоты спектра со скоростью 9 дБ на октаву. Частота стимуляции 4 Гц была выбрана на основе данных литературы [4], так как ССО на МБ-стимул с этой частотой, по сравнению с другими частотами, наименее затухает при погружении в сон (на 2—3-й стадиях сна). Спектральные характеристики стимулов: Контроль — частота 250 Гц, симметрично как по левому кана-

лу, так и по правому; МБ — частоты 248 и 252 Гц, симметрично как по левому каналу, так и по правому; ББ — левый канал 248 Гц; правый канал 252 Гц.

При указанных выше спектральных характеристиках стимулов в контроле биения не должны быть слышны, у сигнала ББ должны ощущаться биения (бинауральные) с частотой 4 Гц только при использовании стереонаушников. У сигнала МБ биения с частотой 4 Гц будут слышны в правом и левом каналах независимо. Глубина модуляции МБ была установлена на уровне 3 дБ, что примерно соответствует ощущаемой глубине модуляции ББ [7]. Это было сделано для снижения количества факторов, потенциально влияющих на исход опыта. Таким образом, все три использованных в исследовании стимула представляли идентичный по высоте звук, немного отличающийся в 2 случаях из 3 наличием особых биений.

Для отслеживания процесса засыпания испытуемых был использован психомоторный тест засыпания [8], адаптированный для смартфона на ОС «Андроид». Было написано 3 версии специального приложения, идентичных по функционалу, но отличающихся видом предъявляемого аудиостимула. Функционал приложений был следующим. Испытуемый должен был ввести свой идентификационный номер, пол, возраст, занять удобное положение и надеть стереонаушники. Затем после нажатия кнопки «старт» включалось воспроизведение заложенного в данное конкретное приложение аудиостимула (1 из 3). В процессе предъявления стимула через случайные промежутки времени длительностью от 7 до 13 с дополнительно подавался контрольный звуковой сигнал, после которого испытуемый должен был продемонстрировать отклик, подняв палец с экрана смартфона и снова опустив. Пропуски отклика на контрольный сигнал свидетельствовали о потере бдительности, предшествующей засыпанию. Пропуск 6 откликов подряд считался признаком наступления сна. Согласно работе [9], такие интервалы нарушения психомоторной деятельности соответствуют 2-й стадии сна, с присущими ей К-комплексами и острыми волнами. Таким образом, за ЛС принимали время последнего отклика на контрольный сигнал, предшествовавшего первой серии из 6 пропусков (в дальнейшем отклики могли возобновиться).

По прошествии 1 ч воспроизведение стимула прекращалось, отчет о нажатиях отправлялся на электронный адрес организаторов исследования. После верификации отчета испытуемому высылали ссылку на 2-е приложение, которое устанавливалось в виде обновления предыдущего, и проводили 2-й опыт по той же схеме. В случае успешной верификации отчета о 2-м опыте высылали ссылку на 3-й. В случае успешной верификации отчета о 3-м опыте испытуемому отправляли письмо об успешном окончании серии. Последовательность из 3 ссылок на приложения определяли случайным образом по контрбалансированной схеме.

Всеми обследованными было подписано информированное согласие на участие в исследовании.

Все 663 отчета испытуемых были консолидированы. Была вычислена для каждого испытуемого ЛС по признаку отсутствия отклика на 6 последовательных контрольных сигналов. Также вычисляли среднее по группе количество откликов на контрольный сигнал на последовательных 5-минутных эпохах с шагом 30 с: 1-я — от 60 с до 6 мин, 2-я — от 1,5 мин до 6,5 мин и др.

Из полученных ЛС 221 испытуемого были удалены данные 19, не продемонстрировавших признаков сна ни в одном из 3 опытов (ЛС >3550 с). ЛС оставшихся 202 испытуемых (79 мужчин, 123 женщины) были статистически проанализированы с помощью пакета R-statistics 4.1.3 (www.r-project.org) методом дисперсионного анализа с повторными измерениями (rANOVA), с учетом дополнительного фактора пола (мужской или женский).

Результаты

Результаты дисперсионного анализа приведены в **табл. 1**. Влияние фактора повторных измерений (т.е. вида стимула) на переменную ЛС не является достоверным. То же самое можно сказать про фактор пола испытуемых. Тем не менее учет пола в данном анализе необходим, поскольку тест Левена показывает значимую неоднородность дисперсии ЛС по этому фактору для стимула МБ ($p<0,05$). При попарном сравнении ЛС для различных комбинаций факторов «пол» и «стимул» различий также не наблюдается **(табл. 2)**. Средние значения ЛС и стандартные ошибки для различ-

Таблица 1. **Уровни достоверности влияния различных факторов на ЛС (rANOVA)**

Table 1. **Significance levels of the effect of different conditions on SL (rANOVA)**

Фактор	F	*p*
Пол (м, ж)	1,319	0,25
Стимул (контроль, МБ, ББ)	1,545	0,21
Пол×стимул	0,433	0,65

Таблица 2. **Уровень достоверности попарных различий между средними значениями ЛС для возможных комбинаций факторов пол×стимул с учетом апостериорной поправки Бонферрони**

Table 2. **Significance level of pairwise difference between mean SL values for possible combinations of gender×stimulus conditions using the Bonferroni aposterior correction**

Комбинация пол×стимул	В сравнении	Разность средних ЛС	Ст. откл.	*p*
Ж×контроль	Ж×МБ	54,19	80,25	1,00
	Ж×ББ	14,39	80,25	1,00
	М×контроль	66,45	136,50	1,00
	М×МБ	237,74	136,50	1,00
	М×ББ	159,38	136,50	1,00
Ж×МБ	Ж×ББ	–39,80	80,25	1,00
	М×контроль	12,26	136,50	1,00
	М×МБ	183,55	136,50	1,00
	М×ББ	105,19	136,50	1,00
Ж×ББ	М×контроль	52,06	136,50	1,00
	М×МБ	223,34	136,50	1,00
	М×ББ	144,98	136,50	1,00
М×контроль	М×МБ	171,29	100,14	1,00
	М×ББ	92,93	100,14	1,00
М×МБ	М×ББ	–78,36	100,14	1,00

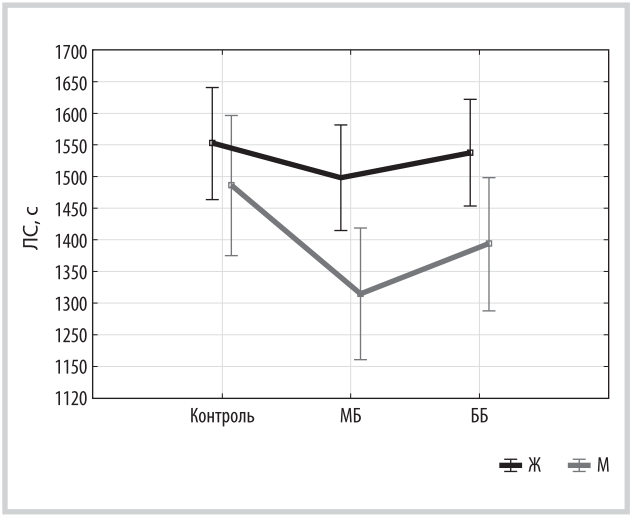

Рис. 1. **Невзвешенные средние значения и стандартные ошибки (вертикальные линии) ЛС испытуемых в зависимости от вида стимула и пола (м, ж).**

Fig. 1. **Unweighted group mean values and standard errors (vertical bars) of SL depending on stimulation condition and gender (m, f).**

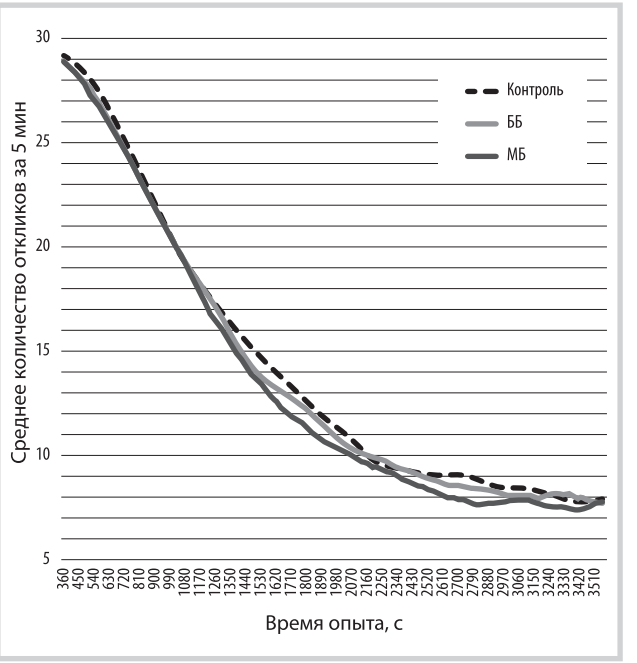

Рис. 2. **Распределение среднего по группе количества откликов на контрольный сигнал по эпохам длительностью 5 мин с шагом 30 с в зависимости от времени и вида стимула.**

Fig. 2. **Group mean value distribution of subject's response to the control signal by 5-min epochs with a step of 30 s, depending on the time from stimulation start and on the stimulus condition.**

ных комбинаций факторов показаны на **рис. 1**. Распределение среднего количества откликов одного испытуемого на контрольный сигнал по 5-минутным эпохам в зависимости от вида стимула показано на **рис. 2**.

Обсуждение

Полученные результаты не опровергают гипотезу, что средние значения ЛС при засыпании в сопровождении аудиостимулов на основе ББ и МБ не отличаются **(см. табл. 2)**. Такое отсутствие различий между влиянием стимулов с МБ и ББ вполне объяснимо с точки зрения НР. Однако достоверных различий не наблюдается и по сравнению с контрольным стимулом (звук без биений), хотя в данном случае ЛС все же численно выше, чем при использовании аудиостимулов на основе биений (как МБ, так и ББ). Поэтому можно задать вопрос: почему, несмотря на значительный объем выборки, этот предсказуемый с точки зрения НР эффект снижения ЛС под воздействием низкочастотных биений остается недостоверным? Это можно объяснить слабоконтролируемыми условиями исследования, что допускает влияние большого количества скрытых переменных, не учтенных при статистическом анализе и увеличивающих разброс данных.

Заключение

Именно такие условия исследования являются критерием эффективности неинвазивных средств улучшения сна, поскольку в конечном итоге все подобные средства должны быть использованы в «домашней» обстановке, а не в лаборатории. В любом случае НР биениями любой природы, присущими звуковому стимулу, является не главным фактором, влияющим на ЛС. Кроме того, разработанное программное приложение полезно как универсальная платформа для оценки воздействия различных внешних факторов на процесс засыпания на больших группах людей.

Работа выполнена в рамках госзадания ИВНД и НФ РАН и при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №20-013-00683а.

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

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Dickson GT, Schubert E. How does music aid sleep? Literature review. *Sleep Med*. 2019;63:142-150.
2. Pratt H, Starr A, Michalewski HJ, et al. A comparison of auditory evoked potentials to acoustic beats and to binaural beats. *Hearing Research*. 2010;262(1-2):34-44. https://doi.org/10.1016/j.heares.2010.01.013
3. Perez HDO, Dumas G, Lehmann A. Binaural Beats through the auditory pathway: from brainstem to connectivity patterns. *Eneuro*. 2020;ENEURO.0232-19.2020.
4. Górska U, Binder M. Auditory-steady state responses to amplitude-modulated tones in awake and NREM sleep. *International Journal of Psychophysiology*. 2019;135:44-54.
5. Nozaradan S, Peretz I, Missal M, Mouraux A. Tagging the neuronal entrainment to beat and meter. *J Neurosci*. 2011;31(28):10234-101540.
6. Шумов Д.Е., Арсеньев Г.Н., Свешников Д.С., Дорохов В.Б. Сравнительный анализ влияния бинауральных биений и сходных видов звуковой стимуляции на процесс засыпания: короткое сообщение. *Вестник Московского университета. Серия 16. Биология*. 2017;72(1):33-36.
   Shumov DE, Arsen'ev GN, Sveshnikov DS, Dorokhov VB. Comparative analysis of the effect of stimulation with a binaural beat and similar kinds of sound on the falling asleep process: A brief note. *Moscow University biological sciences bulletin*. *Series 16. Biology*. 2017;72(1):33-36. (In Russ.). https://doi.org/10.3103/S0096392517010047
7. Oster G. Auditory beats in the brain. *Scientific American*. 1973;229(4):94-103. https://doi.org/10.1038/scientificamerican1073-94
8. Дорохов В.Б. Альфа-веретена и К-комплекс — фазические активационные паттерны при спонтанном восстановлении нарушений психомоторной деятельности на разных стадиях дремоты. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2003;53(4):503-512.
   Dorokhov VB. Alpha-spindle and K-complex — phase activation patterns during spontaneous recovery of psychomotor activity disorders at different stages of nap. *Zhurn Vyssh Nervn Deyat. I.P. Pavlova*. 2003;53(4):503-512. (In Russ.).
9. Dorokhov VB, Tkachenko ON, Ushakov VL, Chernorizov AM. *Neuronal Correlates of Spontaneous Awakening and Recovery of Psychomotor Performance*. International Conference on Cognitive Sciences. Springer, Cham. 2020;429-435.

Поступила 17.06.2022
Received 17.06.2022
Принята к печати 08.09.2022
Accepted 08.09.2022