

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

Научная статья
<https://doi.org/10.11621/npj.2023.0210>

УДК 159.91

Ослабление кардиосинхронности альфа-ритма при отмеривании субъективной минуты

Е. Д. Словенко^{✉ 1, 2}, Д. Г. Митюрева¹, О. В. Сысоева¹

¹ Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

✉ ekaterinaslovenko@gmail.com

Резюме

Актуальность. Интероцепция может служить основой для восприятия времени, это предположение подтверждается обнаруживаемой общностью в коррелятах мозговой активности при обработке интероцептивной информации и задачах на суждение о продолжительности временного интервала. Однако психофизиологические механизмы интеграции интероцептивной информации при восприятии времени остаются неизученными.

Цель. Анализ взаимосвязи между восприятием времени и индивидуальной чувствительностью к сигналам сердца на поведенческом и нейрофизиологическом уровнях.

Выборка. В исследовании принял участие 21 доброволец.

Методы. Экспериментальная процедура с записью ЭЭГ и фотоплетизмограммы включала 5 экспериментальных условий: подсчет ощущаемых сердцебиений в заданные промежутки времени, состояние покоя и отмеривание субъективной минуты с закрытыми и открытыми глазами. Эпохи записи мозговой активности выделялись относительно R-зубца кардиограммы. Были рассчитаны показатели глобальной мощности поля (global field power, GFP) и когерентности в частотном диапазоне альфа-ритма.

Результаты. Длительность субъективной минуты не коррелировала ни с воспринимаемым количеством ударов сердца, ни с объективной частотой сердечного ритма (ЧСС). Точность оценки времени и точность оценки ЧСС также не были связаны. При анализе GFP был выявлен характерный медленный сдвиг мозговой активности, связанный с сердцебиением, однако, он не показал связи с процессом отмеривания длительности, но реагировал на закрывание глаз. При отмеривании минуты по сравнению с покоем, было выявлено снижение фазовой синхронизации альфа-ритма относительно сердцебиения. Дополняя полученный результат, при закрытых глазах синхронизация альфа-ритма относительно сердцебиения оказалась отрицательно связана с величиной отклонения субъективной минуты от объективных значений.

Выводы. Таким образом, хотя связь между ощущением сердцебиения и восприятием времени на поведенческом уровне не была выявлена, в нашем исследовании было впервые показано, что более точное отмеривание субъективной минуты связано с десинхронизацией альфа-ритма относительно сердечного ритма. Полученные результаты дополняют имеющиеся представления о взаимосвязи восприятия времени и сигналов от внутренних органов.

Ключевые слова: восприятие времени, интероцепция, кардиосинхронность, альфа-ритм, сердечный ритм, фазовая когерентность, электроэнцефалография (ЭЭГ).

Информация о финансировании. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-18-00676.

Для цитирования: Словенко Е. Д., Митюрева Д. Г., Сысоева О. В. Ослабление кардиосинхронности альфа-ритма при отмеривании субъективной минуты // Национальный психологический журнал. 2023. № 2 (50). С. 129–143. <https://doi.org/10.11621/npj.2023.0210>

PSYCHOPHYSIOLOGY

Scientific Article

<https://doi.org/10.11621/npj.2023.0210>

Attenuation of alpha-rhythm cardiosynchrony during subjective estimation of a minute

Ekaterina D. Slovenko^{✉1, 2}, Dina G. Mitiureva¹, Olga V. Sysoeva¹

¹Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ ekaterinaslovenko@gmail.com

Abstract

Background. Interoception can serve as the basis for time perception. This assumption is supported with a considerable overlap between the brain structures that are involved in processing of interoceptive information and estimation of time duration. However, the psychophysiological mechanisms of interoceptive information integration during time perception remain largely unexplored.

Objective. Analysis of the relationships between individual interoceptive sensitivity to heartbeats, evoked brain activity associated with the heartbeat, and time perception.

Sample. The study involved 21 volunteers.

Methods. The experimental procedure with EEG and photoplethysmogram recording included 5 experimental conditions: counting heartbeats at the specified time intervals, a resting state, and measuring a subjective minute with closed and open eyes. The epochs of recorded brain activity were defined upon the R-wave of the cardiogram. Global field power (GFP) indicators and coherence in the frequency range of the alpha rhythm were calculated.

Results. The duration of the subjective minute did not correlate with either the perceived number of heart beats or the objective heart rate. There was also no relation between time and heart rate estimation accuracy. GFP analysis revealed a typical slow shift in brain activity, associated with heartbeat, however, it did not show a connection with the process of measuring duration, though it reacted to closing the eyes. At the same time, a decrease in the phase synchronization of the alpha rhythm relative to the heartbeat was detected while duration reproduction in comparison with resting-state. In addition, the degree of this alpha-rhythm cardiosynchrony is negatively correlated with the magnitude of discrepancy between the subjective and objective minute.

Conclusion. Thus, although there was no relationship between the interoceptive sensitivity to heartbeating and time perception on behavioral level, our study is the first to show that the subjective minute estimation is associated with alpha-rhythm desynchronisation in relation to heartbeats with this desynchronization being linked to enhanced accuracy of time estimations. Overall, the results obtained complement the existing ideas about the relationship between the time perception and interoceptive signaling.

Keywords: time perception, interoceptive sensitivity, cardiosynchrony, alpha-rhythm, heart-beat evoked response (HEP), inter-trial coherence (ITC), electroencephalography (EEG).

Funding. The work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 22–18–00676.

For citation: Slovenko, E.D., Mitiureva, D.G., Sysoeva, O.V. (2023). Attenuation of alpha-rhythm cardiosynchrony during subjective estimation of a minute. *National psychological journal*, 2 (50), 129–143. <https://doi.org/10.11621/npj.2023.0210>

Введение

Восприятие времени является мультисенсорным процессом и не основывается на информации, полученной от определенной сенсорной системы (Шиффман, 2003).

Сложность проблематики восприятия времени приближается к проблеме сознания, так как осознание

настоящего момента неразрывно связано с ощущением продолжительности этого момента, понятием о прошлом, настоящем и будущем. В последнее время, вслед за теориями сознания, постулирующими его основу в физиологических и телесных процессах, исследования восприятия времени обращаются к interoцепции, как возможной основе чувства времени (Damasio et al., 2000; Varela et al., 1991).

Впервые предположение о прямой взаимосвязи между интроцепцией и восприятием времени было выдвинуто А. Д. Крейгом (Craig, 2005; 2009). Согласно его концепции, данная взаимосвязь обуславливается интеграцией информационных потоков в единой нейроанатомической основе, в инсule. Инсула агрегирует интероцептивную информацию, полученную по спиноталамокортикальному пути, со значимой информацией о внешнесредовых, мотивационных и когнитивных факторах, получаемую посредством связей с другими областями мозга, например поясной корой и базальными ганглиями (Matell, Meck, 2004). Такая интеграция формирует репрезентацию целостного эмоционального самосознания в каждый момент времени. Последовательность моментов самосознания накапливается в инсule в течение периода времени, что конструирует ощущение настоящего момента и его сознательного переживания.

Таким образом, субъективное увеличение продолжительности времени достигается за счет увеличения количества ощущаемых телесных состояний, большего внимания к телесным проявлениям или повышенного аффективного возбуждения. Позже предположение о том, что интеграция интероцептивных сигналов в инсule формирует основу для восприятия протяженности во времени, подтвердилось в исследованиях с использованием фМРТ (Wittmann et al., 2010, 2011). Было показано увеличение активности инсулы при восприятии и воспроизведении коротких временных интервалов (9 и 18 секунд). При этом во время воспроизведения интервала активность имеет накопительный характер с пиком в конце интервала.

О связи между интероцепцией и восприятием времени также свидетельствует функциональная асимметрия инсулы в левом и правом полушарии: симпатическое возбуждение обрабатывается преимущественно в правой передней островковой доле и вызывает субъективное растяжение времени, а парасимпатическое — в левой и вызывает субъективное сокращение времени (Craig, 2005). Экспериментально было продемонстрировано, что активация симпатической системы, например, при демонстрации пугающих стимулов вызывают переоценку временного интервала, а активация парасимпатической системы посредством тактильной стимуляции медленными поглаживаниями, дыхательных упражнений вызывает недооценку временного интервала (Di Lernia et al., 2018; Ogden et al., 2019). В целом, учитывая влияние вегетативной нервной системы на восприятие времени, можно сделать вывод, что сердечный ритм служит основным источником интероцептивной информации для формирования суждений о его длительности. Так было показано, что сердечный ритм

синхронизируется по фазе с началом и концом временного интервала при задаче на воспроизведение длительности от 2 до 25 секунд (Pollatos et al., 2014). Также точность воспроизведения временных интервалов (8, 14, 20 секунд) коррелирует со степенью замедления сердечного ритма при выполнении задачи (Meissner, Wittmann, 2011).

Важным физиологическим показателем интероцепции, связанной с сердцебиением, являются вызванные потенциалы на сердцебиение (ВПС) (Coll et al., 2021; Pollatos & Schandry, 2004; Каплан, Шишкин, 1992). ВПС представляет собой связанный с событием потенциал, привязанный по времени к сердечным сокращениям. ВПС предположительно отражает корковую обработку сердечной деятельности и считается нейрофизиологическим маркером интероцепции (Pollatos & Schandry, 2004). Активность мозга в ответ на сердцебиение может быть связующим звеном между объективной частотой сердечных сокращений и субъективными висцеральными ощущениями: индивидуальная чувствительность к интероцептивным сигналам о сердцебиении и точность их восприятия, которая может быть оценена при помощи задачи на подсчет ощущаемых сердцебиений в заданный промежуток времени, коррелирует с амплитудой ВПС (Pollatos & Schandry, 2004). Характеристика ВПС также зависит от типа когнитивной нагрузки, направленности внимания и наличия психических расстройств (Coll et al., 2021). Результаты исследований, проведенных с применением разнообразных методов нейровизуализации, в том числе интракраниальной ЭЭГ, также указывают на ключевую роль инсулы в ответе мозга на сердцебиение и в обработке интероцептивной информации в целом (Adolfi et al., 2017; Park et al., 2018; Pollatos et al., 2016). Как индивидуальная интероцептивная чувствительность (Meissner, Wittmann, 2011), так и амплитуда раннего негативного компонента ВПС коррелируют с точностью оценки длительности промежутка времени (Richter, Ibáñez, 2021).

Другим мозговым процессом, связанным с сердцебиением, является кардиосинхронный альфа-ритм: было показано, что ритмическая активность мозга именно в этом диапазоне частот проявляет фазовую синхронизацию с сердцебиением (Каплан, Шишкин, 1992). Есть свидетельства в пользу того, что альфа-ритм ассоциирован с активностью ключевых структур в передаче интероцептивной информации: таламуса и инсулы (Goldman et al., 2002), в то же время таламус является возможным генератором альфа-ритма (Schreckenberger et al., 2004). Возможная роль кардиосинхронного альфа-ритма в мозговых механизмах восприятия времени прежде не была рассмотрена в исследованиях.

Таким образом, в настоящем исследовании с целью изучения роли interoцепции в восприятии времени будут проанализированы взаимосвязи между interoцептивной чувствительностью на поведенческом уровне (точность подсчета ощущаемых сердцебиений), вызванной мозговой активностью, связанной с сердцебиением и, в частности, когерентностью альфа-ритма относительно сердцебиения, и восприятием времени, как точностью отмеривания субъективной минуты.

Выборка

В исследовании принял участие 21 доброволец (17 женщин, средний возраст $30,7 \pm 13,5$) без психических и неврологических заболеваний в анамнезе. Каждый участник заполнял форму информированного согласия на участие в исследовании. Исследование было одобрено этическим комитетом Института ВНД и Нейрофизиологии РАН (Протокол этического комитета № 2, 30 апреля 2021 года). Все аспекты исследования соответствуют принципам исследовательской этики, обозначенным в Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы медицинских исследований с участием человека в качестве испытуемого».

Методы

Регистрация мозговой активности проводилась в шумоизолированной и электрически экранированной камере при помощи аппаратуры и программного обеспечения BrainVision (actiCHamp Plus (Brain Products GmbH)). Для записи электроэнцефалограммы использовалось 64 отведения, расположенных в соответствии с системой 10–20, референтный электрод — FCz.

В рамках эксперимента участники выполняли задания на отмеривание длительности временных промежутков и на оценку количества ударов сердца за фиксированный период времени. Одновременно проводилась регистрация объективных показателей (соответственно, длительности интервала отсчета минуты и частоты сердечных сокращений), позволяющих сравнить точность субъективной оценки с объективным показателем. На первом этапе задание испытуемого состояло в том, чтобы нажать на кнопку по прошествии одной минуты после стартового сигнала, не используя никакие устройства для измерения времени. Также испытуемых просили воздержаться от счета про себя и использования

ритмических отстукиваний. Это задание выполнялось дважды с открытыми глазами и дважды с закрытыми глазами. На втором этапе эксперимента была записана фоновая энцефалограмма с открытыми и с закрытыми глазами — по два тридцатисекундных интервала в каждом условии. На третьем этапе испытуемому предлагалось считать количество ударов сердца, не щупая пульс, пока не прозвучит звуковой сигнал, и после записать отмеренное количество сердцебиений. Испытуемый при этом не получал указаний закрыть или открыть глаза. Сердцебиение отсчитывалось в течение трех фиксированных временных интервалов 15, 70 и 40 секунд. Регистрация количества сердечных сокращений проводилась с помощью фотоплетизмографии.

Обработка данных энцефалограммы была проведена с помощью пакета MNE (Gramfort et al., 2013), разработанного на языке программирования Python. Предварительная обработка записей включала фильтрацию в диапазоне 0,5–40 Гц и интерполяцию зашумленных отведений (до 4). Для определения артефактов, связанных с сердцебиением, вертикальными и горизонтальными движениями глаз был использован метод независимых компонент. Для каждой записи компоненты, содержащие артефакты выбирались вручную с использованием рекомендательной системы, реализованной в пакете ALICE (Soghojan et al., 2021). До 5 компонент, содержащих артефакты, было вычтено из каждой записи.

Для амплитудно-временного анализа были использованы 1-секундные фрагменты ЭЭГ, синхронизированные с R-зубцом кардиограммы. Для анализа синхронизации мозговых ритмов были использованы 2,5-секундные фрагменты ЭЭГ, соответствующие промежутку 1 секунды до и 1,5 секунды после R-зубца. Количество фрагментов для усреднения вызванного потенциала в каждом условии лежало в пределах от 47 до 67.

Поскольку сведения о топографическом распределении вызванного потенциала, связанного с сердцебиением (ВПС) не уточнены, для оценки амплитудно-временных характеристик был использован показатель глобальной мощности поля (global field power, GFP), соответствующий стандартному отклонению активности всех отведений в единичный момент времени. Величина GFP оценивалась как площадь под функцией GFP от времени, в промежутке от 0 до 600 мсек, где, согласно литературе, имеются значимые изменения амплитуды ВПС в разных условиях (Terhaar, et al., 2012). Значимость различий GFP между условиями оценивалась с помощью однофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями, реализованного в программе SPSS. Для оценки влияния

факторов условия записи (с открытыми или с закрытыми глазами) и экспериментальной задачи (отсчет минуты или состояние спокойного бодрствования) был проведен двухфакторный дисперсионный анализ. Экспериментальная задача отсчета количества сердцбиений не была включена в двухфакторную модель, поскольку в этом условии не контролировалось, закрыты или открыты глаза испытуемого.

Для оценки выраженности синхронизации ЭЭГ-сигнала был проведен анализ когерентности, отражающий степень совпадения фазы колебаний определенного частотного диапазона. В качестве показателя когерентности была использована когерентность между фрагментами ЭЭГ, связанными с ударами сердца (inter-trial coherence). Для каждого отведения значения когерентности были вычислены в 5 частотах альфа-диапазона (9, 10, 11, 12 и 13 Гц) и усреднены по 2,5-секундному интервалу. Для усреднения показателя по всем отведениям выбиралось максимальное из значений 5 частотных диапазонов. В анализ были включены данные 20 испытуемых, у которых была записана ЭЭГ в покое и при выполнении задач на отмеривание минуты и подсчет сердцбиений (из анализа был исключен один испытуемый из-за отсутствия записи фоновой ЭЭГ). Значимость различий параметров мозговой синхронизации между условиями также оценивалась с помощью однофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями, реализованного в программе SPSS. Для уточнения характера связи между когерентностью альфа-ритма, содержанием экспериментальной задачи и условием записи (с открытыми или закрытыми глазами) был проведен двухфакторный дисперсионный анализ.

В двухфакторную модель были включены только условия, где контролировалось, закрыты или открыты глаза: отсчет минуты и фоновая запись.

Для анализа использовались следующие поведенческие характеристики: величина ошибки при оценке сердцбиения как абсолютное значение разницы субъективного и объективного количества ударов сердца; величина ошибки при отмеривании субъективной минуты как абсолютное значение разницы субъективной длительности минуты от точной длительности. Для корреляционного анализа связи между субъективным и объективным количеством сердцбиений были использованы данные 18 испытуемых, сообщивших, какое количество сердцбиений они посчитали во время эксперимента. В зависимости от параметров распределения поведенческих показателей для корреляционного анализа был использован коэффициент Пирсона (при нормальном распределении значений) или коэффициент Спирмена (при ненормальном распределении).

Результаты исследования

Поведенческие показатели

Связь между величиной ошибки при отсчете минуты и отсчете количества сердечных ударов оказалась отрицательной и не значимой ($N = 18$, $R(P) = -0,427$, $p = 0,077$). Субъективная оценка минуты оказалась не связанной с субъективным количеством ударов сердца ($N = 18$, $R(S) = 0,017$, $p = 0,948$). Анализ также не выявил связи между субъективной длительностью минуты и ЧСС во время отсчета ($N = 21$, $R(P) = -0,309$, $0,173$).

Таблица 1. Описательная статистика частоты сердечных сокращений в разных экспериментальных условиях и субъективной оценки количества ударов за промежуток 125 сек.

Условие	N	мин.	макс.	среднее	стандартное отклонение	дисперсия
Удары сердца субъективные, количество ударов						
Отсчет ударов сердца	18	44	270	111,5	48,082	2311,912
ЧСС объективная, ударов/мин						
Отсчет ударов сердца	21	54	116	78,06	14,941	223,23
Минута открытые глаза	21	52,93	86,3	70,741	8,238	67,863
Минута закрытые глаза	21	50,95	86,29	70,594	8,458	71,534
Фон открытые глаза	20	49,97	86,95	69,962	9,158	83,867
Фон закрытые глаза	20	50,07	85,12	69,799	9,079	82,432

Table 1. Descriptive statistics of heart rate and of subjective estimate of heart rate within 125 seconds in tested experimental conditions

Condition	N	Min	Max	Mean	SD	σ^2
Subjective estimate of heart rate, number of heartbeats						
Heartbeat counting	18	44	270	111.5	48.082	2311.912
Objective heart rate, beats per minute						
Heartbeat counting	21	54	116	78.06	14.941	223.23
Minute counting with open eyes	21	52.93	86.30	70.741	8.238	67.863
Minute counting with closed eyes	21	50.95	86.29	70.594	8.458	71.534
Resting state with open eyes	20	49.97	86.95	69.967	9.158	83.867
Resting state with closed eyes	20	50.07	85.12	69.799	9.079	82.432

Вызванный потенциал на удары сердца

Дисперсионный анализ показал, что между показателями GFP в пяти экспериментальных условиях есть достоверные различия (основной эффект: $F(4, 76) = 4,668, p = 0,017, \eta^2 = 0,197$). Поскольку тест показал отсутствие сферичности матрицы

дисперсий, к результатам была применена поправка Greenhouse — Geisser. Апостериорные сравнения по критерию Бонферрони показали, что различия значимы только между условиями «отсчет минуты с открытыми глазами» и «фон с закрытыми глазами» ($p = 0,01$).

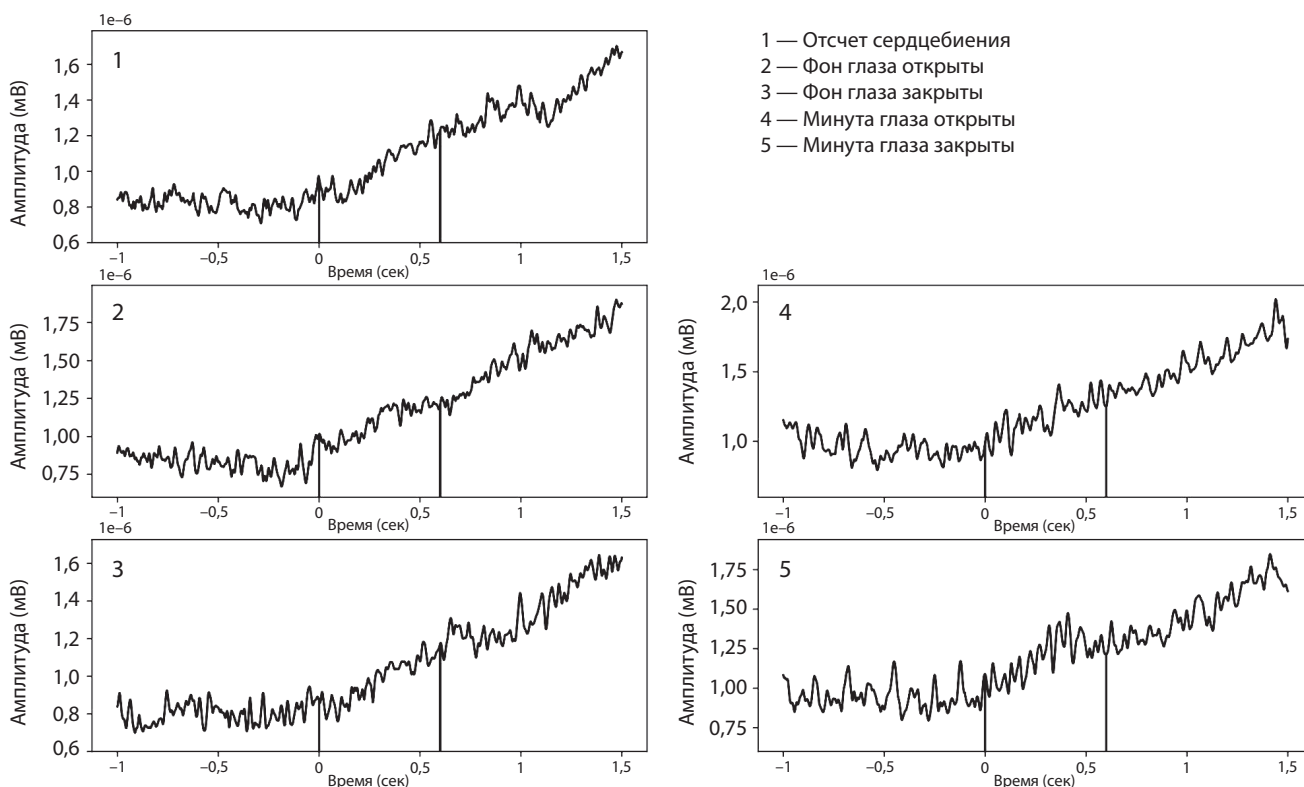


Рис. 1. Усредненные по группе показатели GFP для пяти экспериментальных условий и интервал, выбранный для оценки статистических различий между условиями (0–600 мсек после удара сердца)

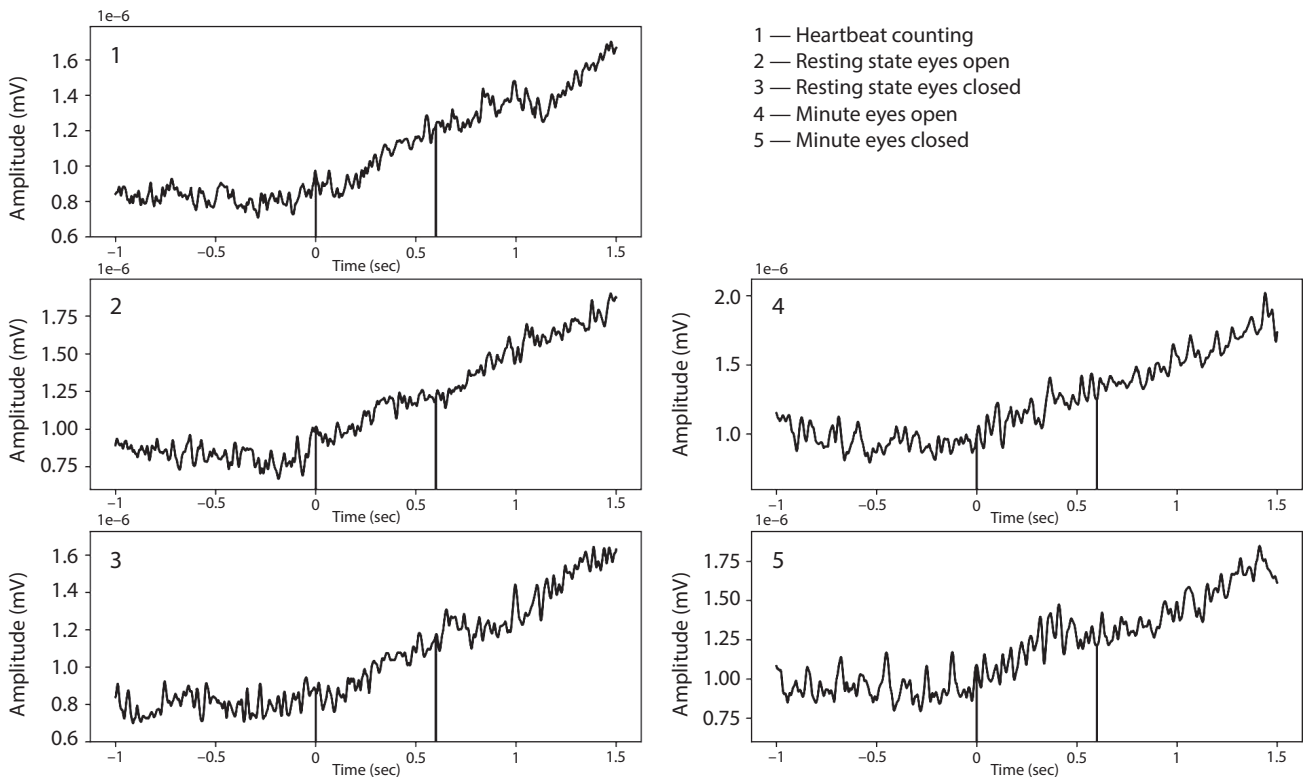


Fig. 1. Group-averaged GFP scores for the five experimental conditions and interval chosen to assess statistical differences between conditions (0–600 ms after heartbeat)

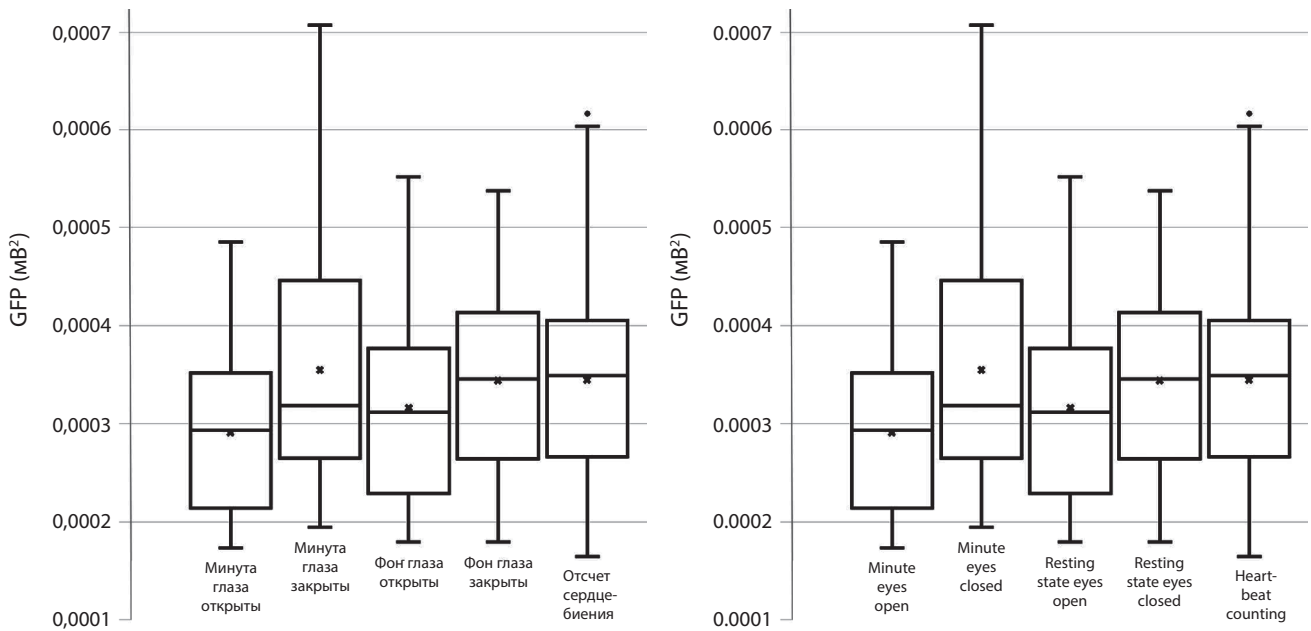


Рис. 2. Диаграмма размаха значений GFP в кардиосинхронной ЭЭГ для пяти экспериментальных условий

Fig. 2. Range diagram of GFP values in cardiosynchronous EEG for five experimental conditions

Таблица 2. Среднегрупповые значения GFP и мозговой когерентности относительно сердечного ритма в сравниваемых экспериментальных условиях

Условие	Минута открытые глаза	Минута закрытые глаза	Фон открытые глаза	Фон закрытые глаза	Отсчет ЧСС
Площадь под функцией амплитуды (мВ ²)	2,9* e^{-4} ± 7,99* e^{-5}	3,54* e^{-4} ± 1,257* e^{-4}	3,16* e^{-4} ± 1,062* e^{-4}	3,44* e^{-4} ± 1,065* e^{-4}	3,44* e^{-4} ± 1,22* e^{-4}
Когерентность относительно сердечного ритма	0,115 ± 0,0069	0,1151 ± 0,011	0,1222 ± 0,0117	0,1222 ± 0,0109	0,1166 ± 0,0082

Table 2. The average GFP values and brain cardio-coherence during the experimental conditions

Condition	Minute counting with open eyes	Minute counting with closed eyes	Resting state with open eyes	Resting state with closed eyes	Heartbeat counting
Average GFP (mV ²)	2.9* e^{-4} ± 7.99* e^{-5}	3.54* e^{-4} ± 1.257* e^{-4}	3.16* e^{-4} ± 1.062* e^{-4}	3.44* e^{-4} ± 1.065* e^{-4}	3.44* e^{-4} ± 1.22* e^{-4}
Inter-trial coherence in relation to heartbeat	0.115 ± 0.0069	0.1151 ± 0.011	0.1222 ± 0.0117	0.1222 ± 0.0109	0.1166 ± 0.0082

Двухфакторный анализ выявил значимый основной эффект условия записи ($F(1, 19) = 11,145, p = 0,003, \eta^2 = 0,37$), в то время как фактор задачи и взаимодействие обоих факторов оказались не значимы (Основной эффект фактора задачи: $F(1, 19) = 0,465, p = 0,504, \eta^2 = 0,024$; эффект взаимодействия факторов: $F(1, 19) = 4,115, p = 0,057, \eta^2 = 0,178$).

При визуальной оценке ВПС отдельных испытуемых была обнаружена согласованная по фазе ЭЭГ-активность в диапазоне, сопоставимом с диапазоном альфа-ритма (9–13 Гц) (рис. 3).

Для оценки выраженности синхронизации ЭЭГ-сигнала с сердечным ритмом был проведен анализ когерентности, отражающий степень совпадения фазы колебаний определенного частотного диапазона.

Когерентность кардиосинхронного альфа-ритма при экспериментальных условиях

Сравнение показателей мозговой когерентности в пяти экспериментальных задачах с помощью однофакторного дисперсионного анализа выявило значимые различия между экспериментальными условиями (основной эффект: $F(4, 76) = 2,819, p = 0,031, \eta^2 = 0,129$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали, что когерентность при отсчете минуты значимо ниже, чем в состоянии спокойного бодрствования, как при открытых, так при закрытых глазах (основной эффект фактора задачи: $F(1, 19), p = 0,016, \eta^2 = 0,271$). Значимого влияния фактора условия записи и взаимодействия факторов задачи и условия обнаружено не было (Основной эффект: $F(1, 19) = 0,001, p = 0,981, \eta^2 = 0$; эффект взаимодействия: $F(1, 19) = 0,002, p = 0,966, \eta^2 = 0$).

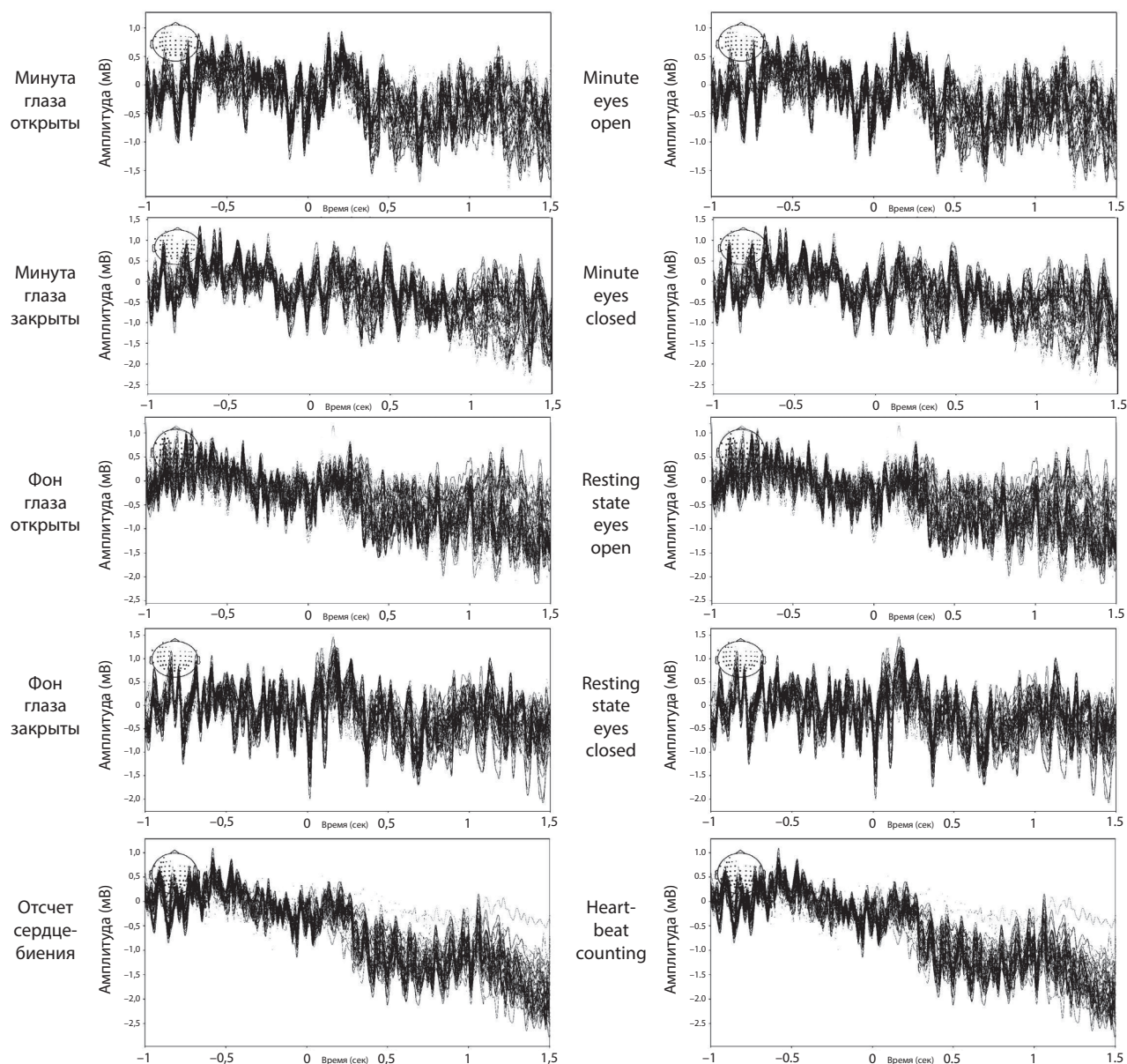


Рис. 3. Усредненные по группе ВПС в условиях отсчета субъективной минуты с открытыми глазами (1), отсчета субъективной минуты с закрытыми глазами (2), фоновой записи с открытыми глазами (3), фоновой записи с закрытыми глазами (4), отсчета ударов сердца (5)

Fig. 3. ETS averaged over the group under the conditions of counting the subjective minute with eyes open (1), counting the subjective minute with eyes closed (2), resting state recording with eyes open (3), resting state recording with eyes closed (4), counting heart beats (5)

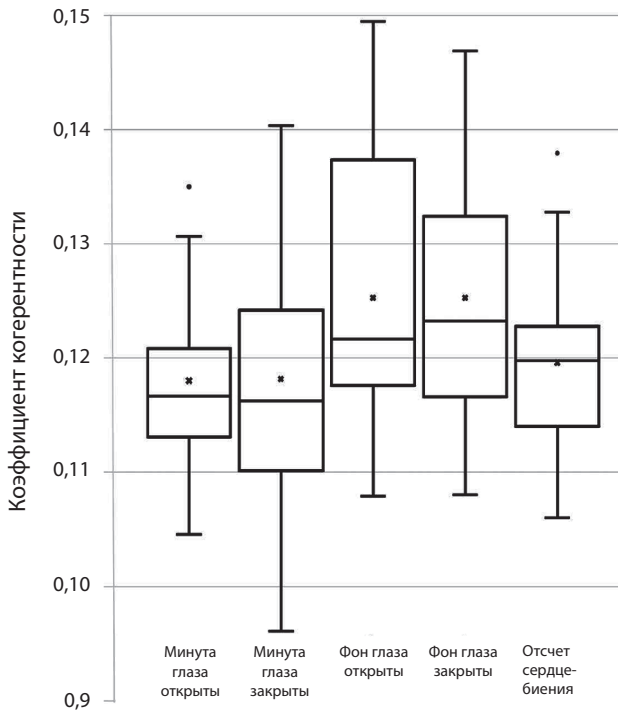


Рис. 4. Диаграмма размаха значений когерентности альфа-ритма для пяти экспериментальных условий

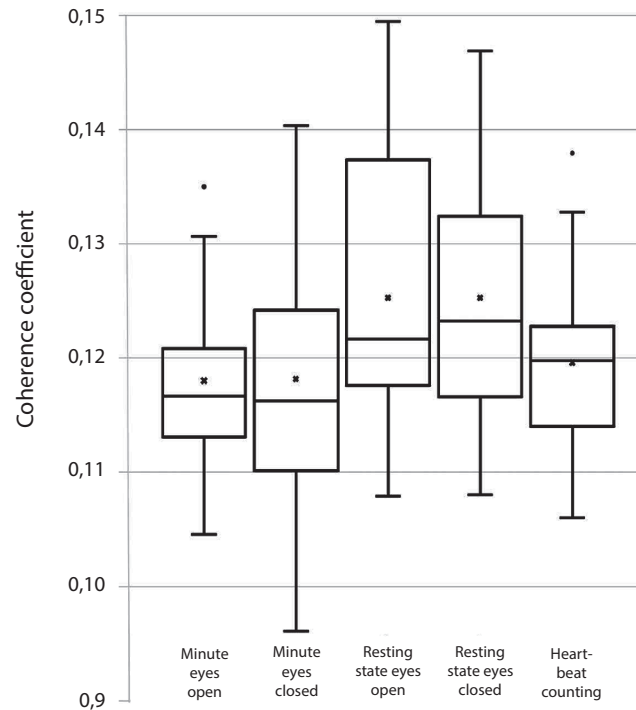


Fig. 4. Range diagram of alpha rhythm coherence values for five experimental conditions

Корреляционный анализ поведенческих и физиологических показателей

Корреляционный анализ показал отсутствие связи между точностью подсчета ощущаемых сердцебиений и когерентностью альфа-ритма относительно сердцебиения при выполнении задачи на подсчет сердцебиений ($N = 18, R(S) = -0,277, p = 0,366$), а также отсутствие связи между точностью измерения времени и когерентностью при отмеривании субъективной минуты

как при открытых ($N = 20, R(P) = -0,303, p = 0,194$), так и при закрытых глазах ($N = 20, R(P) = 0,161, p = 0,497$). Тем не менее было обнаружено, что в условии закрытых глаз есть средняя отрицательная корреляция между величиной ошибки при отсчете минуты и степенью снижения когерентности ($N = 20, R(P) = -0,54, p = 0,014$). При открытых глазах корреляция между когерентностью и величиной ошибки отсутствует ($N = 20, R(P) = 0,05, p = 0,826$).

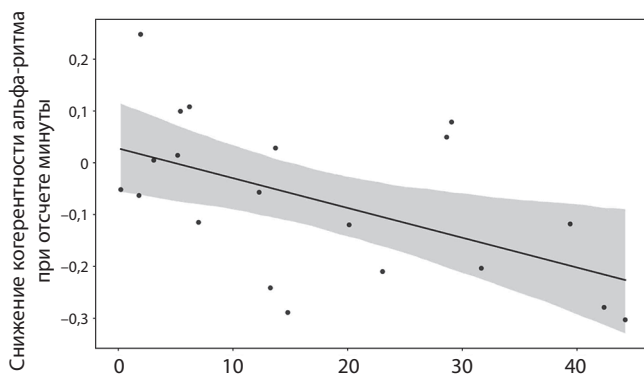


Рис. 5. Корреляция величины ошибки при отсчете минуты и степени снижения когерентности относительно сердечного ритма при закрытых глазах

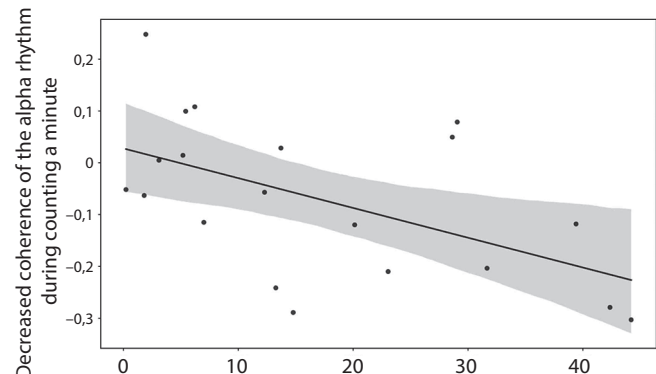


Fig. 5. Correlation between the magnitude of the error in counting the minute and the degree of decrease in coherence relative to the heart rate with eyes closed

Обсуждение результатов

В настоящем исследовании была проанализирована взаимосвязь между мозговой активностью, вызванной сердцебиением, индивидуальной чувствительностью к interoцептивным ощущениям сердцебиения и субъективным суждением о времени.

Результаты показывают отсутствие значимой корреляции между точностью воспроизведения субъективной минуты и interoцептивной чувствительностью — точностью подсчета ощущаемых сердцебиений, что не согласуется с результатами предыдущих исследований (Meissner, Wittmann, 2011; Pollatos et al., 2014; Richter, Ibáñez, 2021). Однако и в предыдущих исследованиях данная связь периодически не воспроизводилась. Вероятно, что на выборке нормотипичных участников, не имеющих interoцептивных искажений, наблюдаемых, например, при депрессивных расстройствах, алекситимии, вариабельность этого показателя слишком мала (Wittmann, Meissner, 2018).

Также в нашем исследовании не было выявлено значимой связи между ЧСС и длительностью отмериваемой субъективной минуты. Хотя предыдущие исследования и показывали, что увеличение ЧСС приводит к субъективному растяжению временного интервала и недооценке промежутка времени при его воспроизведении (Jamin et al., 2004; Ogden et al., 2019), что в частности соотносится с исследованиями влияния физической нагрузки на восприятие времени (Sysoeva et al., 2013). Однако, во взаимосвязи между ЧСС и восприятием времени может быть множество дополнительных модулирующих факторов. Например, в одном из исследований независимо варьировали параметры общего возбуждения и ЧСС, и выяснили, что при повышении субъективно оцениваемого возбуждения воспринимаемая скорость течения времени повышается вне зависимости от ЧСС (Schwarz et al., 2013). Таким образом, можно предположить, что ЧСС не оказывает непосредственного влияния на восприятие времени, а лишь с учетом субъективной значимости и соотношения с текущими условиями окружающей среды.

Возникновение выраженного вызванного потенциала в группе отведений обычно сопровождается изменением показателя GFP в постстимульном интервале. В нашем исследовании выявлена медленная волна на GFP, соответствующая медленному сдвигу ВПС, описываемому в предыдущих работах. Однако изменение этой волны в зависимости от наших экспериментальных условий вызывал только фактор того, закрыты или открыты глаза участников: при закрытых глазах реакция на сердцебиения увеличена. Это согласуется с предыдущими исследованиями

о том, что уменьшение внешней афферентации ведет к увеличению ответа мозга на внутренние сигналы, включая и удары сердца (Пигарев, 2013). Тем не менее, данный нейрофизиологический ответ был не связан с тем, отмерял ли человек минуты или нет, и это свидетельствует, что ВПС не модулируется задачей сознательного отмеривания времени.

Связь с восприятием времени тем не менее показала фазовая синхронизация альфа-ритма с кардиоциклом. При отмеривании субъективной минуты, как при открытых, так и при закрытых глазах когерентность кардиосинхронного альфа-ритма снижалась, что согласуется с данными предыдущих исследований, описывающих обратную зависимость между интенсивностью афферентации от органов сердечно-сосудистой системы и активацией корковых центров (Каплан, Шишкин, 1992). Возможно, полученные результаты свидетельствуют, что interoцептивная информация о сердцебиении не является значимой при отмеривании субъективной минуты, и альфа-ритм «высвобождается» для какой-то другой задачи, связанной с восприятием времени. Также возможно, что взаимосвязь между сердечным ритмом и активностью мозга при решении такой задачи синхронизирована с активностью в другом диапазоне частот. Например, было показано, что в бета-диапазоне мощность ритма при воспроизведении временного интервала предсказывает длительность этого интервала (Kononowicz, Rijn, 2015). Однако, в этой же работе (на рис. 2 в статье) видно и увеличение мощности в частотном диапазоне альфа-ритма при этой задаче, хотя авторы этого и не обсуждают.

Следовательно, можно сделать вывод о наличии функциональной реципрокности между кардиосинхронным альфа-ритмом и восприятием времени. Это подтверждается также тем, что при сопоставлении когерентности кардиосинхронного альфа-ритма с поведенческими показателями была обнаружена обратная связь между величиной ошибки при отмеривании субъективной минуты и фазовой синхронизацией альфа-ритма с сердцебиением. Таким образом, точность отмеривания субъективной минуты повышается при снижении когерентности альфа-ритма относительно сердцебиения. При этом данная взаимосвязь прослеживается только при отмеривании субъективной минуты с закрытыми глазами, что, возможно, объясняется меньшей интерференцией с внешними сенсорными сигналами и меньшей опорой на них при отмеривании субъективной минуты с закрытыми глазами. Полученные результаты дополняют имеющиеся представления о взаимосвязи восприятия времени и сигналов от внутренних органов.

Среди ограничений исследования стоит отметить отсутствие контроля за состоянием глаз в условиях с подсчетом сердцебиений, что не позволило провести прямое сопоставление всех условий с учетом этого фактора. Также возможно влияние эффекта порядка на фоновую активность мозга в виду предшествования задачи на отмеривание субъективной минуты. В данном исследовании не было поставлено задачи на анализ топографии ВПС и значимых эффектов, связанных с когерентностью кардиосинхронного альфа-ритма, что, однако, дополнило бы полученные результаты. Данные ограничения будут учтены в дальнейших исследованиях.

Выводы

Результаты проведенного исследования демонстрируют, что точность отмеривания субъективной минуты не связана с индивидуальной interoцептивной чувствительностью. ВПС не модулируется задачей на отмеривание субъективной минуты, в отличие от ритмических характеристик мозговой активности в альфа-диапазоне частот. Когерентность альфа-ритма относительно сердцебиения снижается при отмеривании субъективной минуты, а точность отмеривания субъективной минуты связана со снижением когерентности кардиосинхронного альфа-ритма. Таким образом, можно предположить, что существует функциональная реципрокность между кардиосинхронным альфа-ритмом и суждением о длительности промежутка времени.

Литература

- Каплан А. Я., Шишкин С. Л. Кардиосинхронные феномены работы мозга: Психофизиологические аспекты // Биологические науки. 1992. № 10. С. 5–24.
- Пигарев И. Н. Висцеральная теория сна // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2013. Т. 63, № 1. С. 86–104.
- Шиффман Х. Р. Ощущение и восприятие. СПб.: Питер, 2003.
- Adolfi, E., Couto, B., Richter, F., Decety, J., Lopez, J., Sigman, M., Manes, F., & Ibáñez, A. (2017). Convergence of interoception, emotion, and social cognition: A twofold fMRI meta-analysis and lesion approach. *Cortex*, 88, 124–142. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.12.019>
- Coll, M.-P., Hobson, H., Bird, G., & Murphy, J. (2021). Systematic review and meta-analysis of the relationship between the heartbeat-evoked potential and interoception. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 122, 190–200. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.12.012>
- Craig (Bud), A.D. (2005). Forebrain emotional asymmetry: A neuroanatomical basis? *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (12), 566–571. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.10.005>
- Craig (Bud), A.D. (2009). Emotional moments across time: A possible neural basis for time perception in the anterior insula. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1525), 1933–1942. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0008>
- Damasio, A.R., Grabowski, T.J., Bechara, A., Damasio, H., Ponto, L.L.B., Parvizi, J., & Hichwa, R.D. (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience*, 3, 1049–1056. <https://doi.org/10.1038/79871>
- Di Lernia, D., Serino, S., Pezzulo, G., Pedroli, E., Cipresso, P., & Riva, G. (2018). Feel the time. Time perception as a function of interoceptive processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 74.
- Goldman, R.I., Stern, J.M., Engel, J., & Cohen, M.S. (2002). Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm. *Neuroreport*, 13 (18), 2487–2492. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000047685.08940.d0>
- Gramfort, A., Luessi, M., Larson, E., Engemann, D.A., Strohmeier, D., Brodbeck, C., Goj, R., Jas, M., Brooks, T., & Parkkonen, L. (2013). MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Frontiers in Neuroscience*, 7, 267.
- Jamin, T., Joulia, F., Fontanari, P., Bonnon, M., Ulmer, C., & Crémieux, J. (2004). Effet d'une situation d'apnée statique sur les capacités individuelles d'estimation du temps Effect of a static apnea exposure on time estimation ability. *Science & Sports*, 19, 142–144.
- Jann, K., Dierks, T., Boesch, C., Kottlow, M., Strik, W., & Koenig, T. (2009). BOLD correlates of EEG alpha phase-locking and the fMRI default mode network. *NeuroImage*, 45 (3), 903–916. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.01.001>
- Kononowicz, T.W., van Rijn, H. (2015). Single trial beta oscillations index time estimation. *Neuropsychologia*, 75, 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.06.014>
- Matell, M.S., Meck, W.H. (2004). Cortico-striatal circuits and interval timing: Coincidence detection of oscillatory processes. *Cognitive Brain Research*, 21 (2), 139–170. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.06.012>
- Meissner, K., Wittmann, M. (2011). Body signals, cardiac awareness, and the perception of time. *Biological Psychology*, 86 (3), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.01.001>
- Menon, V. (2015). Salience Network. In A. W. Toga (Eds.), *Brain Mapping* (pp. 597–611). Waltham: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00052-X>
- Ogden, R.S., Henderson, J., McGlone, F., & Richter, M. (2019). Time distortion under threat: Sympathetic arousal predicts time distortion only in the context of negative, highly arousing stimuli. *PLOS ONE*, 14 (5), e0216704. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216704>

- Park, H.-D., Bernasconi, F., Salomon, R., Tallon-Baudry, C., Spinelli, L., Seeck, M., Schaller, K., & Blanke, O. (2018). Neural Sources and Underlying Mechanisms of Neural Responses to Heartbeats, and their Role in Bodily Self-consciousness: An Intracranial EEG Study. *Cerebral Cortex*, 28 (7), 2351–2364. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx136>
- Pollatos, O., Herbert, B.M., Mai, S., & Kammer, T. (2016). Changes in interoceptive processes following brain stimulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371 (1708), 20160016. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0016>
- Pollatos, O., & Schandry, R. (2004). Accuracy of heartbeat perception is reflected in the amplitude of the heartbeat-evoked brain potential. *Psychophysiology*, 41 (3), 476–482. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.2004.00170.x>
- Pollatos, O., Yeldesbay, A., Pikovsky, A., & Rosenblum, M. (2014). How much time has passed? Ask your heart. *Frontiers in Neurobotics*, 8, 15.
- Richter, F., Ibáñez, A. (2021). Time is body: Multimodal evidence of crosstalk between interoception and time estimation. *Biological Psychology*, 159, 108017. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2021.108017>
- Schreckenberger, M., Lange-Asschenfeld, C., Lochmann, M., Mann, K., Siessmeier, T., Buchholz, H.-G., Bartenstein, P., & Gründer, G. (2004). The thalamus as the generator and modulator of EEG alpha rhythm: A combined PET/EEG study with lorazepam challenge in humans. *NeuroImage*, 22 (2), 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.01.047>
- Schwarz, M.A., Winkler, I., & Sedlmeier, P. (2013). The heart beat does not make us tick: The impacts of heart rate and arousal on time perception. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75 (1), 182–193. <https://doi.org/10.3758/s13414-012-0387-8>
- Soghoyan, G., Ledovsky, A., Nekrashevich, M., Martynova, O., Polikanova, I., Portnova, G., Rebreikina, A., Sysoeva, O., & Sharaev, M. (2021). A Toolbox and Crowdsourcing Platform for Automatic Labeling of Independent Components in Electroencephalography. *Frontiers in Neuroinformatics*, 15, 720229. <https://doi.org/10.3389/fninf.2021.720229>
- Sysoeva, O.V., Wittmann, M., Mierau, A., Polikanova, I., Strüder, H.K., & Tonevitsky, A. (2013). Physical exercise speeds up motor timing. *Frontiers in Psychology*, 4, 612.
- Terhaar, J., Viola, F.C., Bär, K.-J., & Debener, S. (2012). Heartbeat evoked potentials mirror altered body perception in depressed patients. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 123 (10), 1950–1957. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2012.02.086>
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind*. Cambridge: MIT Press.
- Wiener, M., & Kanai, R. (2016). Frequency tuning for temporal perception and prediction. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.01.001>
- Wittmann, M., Meissner, K. (2018). The embodiment of time: How interoception shapes the perception of time. In M. Tsakiris & H. De Preester (Eds.), *The Interoceptive Mind: From Homeostasis to Awareness*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198811930.003.0004>
- Wittmann, M., Simmons, A.N., Aron, J.L., & Paulus, M.P. (2010). Accumulation of neural activity in the posterior insula encodes the passage of time. *Neuropsychologia*, 48 (10), 3110–3120. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.06.023>
- Wittmann, M., Simmons, A.N., Flagan, T., Lane, S.D., Wackermann, J., & Paulus, M.P. (2011). Neural substrates of time perception and impulsivity. *Brain Research*, 1406, 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.06.048>

References

- Adolfi, F., Couto, B., Richter, F., Decety, J., Lopez, J., Sigman, M., Manes, F., & Ibáñez, A. (2017). Convergence of interoception, emotion, and social cognition: A twofold fMRI meta-analysis and lesion approach. *Cortex*, 88, 124–142. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.12.019>
- Coll, M.-P., Hobson, H., Bird, G., & Murphy, J. (2021). Systematic review and meta-analysis of the relationship between the heartbeat-evoked potential and interoception. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 122, 190–200. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.12.012>
- Craig (Bud), A.D. (2005). Forebrain emotional asymmetry: A neuroanatomical basis? *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (12), 566–571. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.10.005>
- Craig (Bud), A.D. (2009). Emotional moments across time: A possible neural basis for time perception in the anterior insula. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1525), 1933–1942. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0008>
- Damasio, A.R., Grabowski, T.J., Bechara, A., Damasio, H., Ponto, L.L.B., Parvizi, J., & Hichwa, R.D. (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience*, 3, 1049–1056. <https://doi.org/10.1038/79871>
- Di Lernia, D., Serino, S., Pezzulo, G., Pedroli, E., Cipresso, P., & Riva, G. (2018). Feel the time. Time perception as a function of interoceptive processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 74.
- Goldman, R.I., Stern, J.M., Engel, J., & Cohen, M.S. (2002). Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm. *Neuroreport*, 13 (18), 2487–2492. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000047685.08940.d0>
- Gramfort, A., Luessi, M., Larson, E., Engemann, D.A., Strohmeier, D., Brodbeck, C., Goj, R., Jas, M., Brooks, T., & Parkkonen, L. (2013). MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Frontiers in Neuroscience*, 7, 267.
- Jamin, T., Joulia, F., Fontanari, P., Bonnon, M., Ulmer, C., & Crémieux, J. (2004). Effet d'une situation d'apnée statique sur les capacités individuelles d'estimation du temps Effect of a static apnea exposure on time estimation ability. *Science & Sports*, 19, 142–144.
- Jann, K., Dierks, T., Boesch, C., Kottlow, M., Strik, W., & Koenig, T. (2009). BOLD correlates of EEG alpha phase-locking and the fMRI default mode network. *NeuroImage*, 45 (3), 903–916. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.01.001>

- Kaplan, A. Ya., Shishkin, S.L. (1992). Cardiosynchronous Phenomena of the Brain: Psychophysiological Aspects. *Biologicheskie nauki (Biological Sciences)*, 10, 5–24. (In Russ.).
- Kononowicz, T.W., van Rijn, H. (2015). Single trial beta oscillations index time estimation. *Neuropsychologia*, 75, 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.06.014>
- Matell, M.S., Meck, W.H. (2004). Cortico-striatal circuits and interval timing: Coincidence detection of oscillatory processes. *Cognitive Brain Research*, 21 (2), 139–170. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.06.012>
- Meissner, K., Wittmann, M. (2011). Body signals, cardiac awareness, and the perception of time. *Biological Psychology*, 86 (3), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.01.001>
- Menon, V. (2015). Salience Network. In A. W. Toga (Eds.), *Brain Mapping* (pp. 597–611). Waltham: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00052-X>
- Ogden, R.S., Henderson, J., McGlone, F., & Richter, M. (2019). Time distortion under threat: Sympathetic arousal predicts time distortion only in the context of negative, highly arousing stimuli. *PLOS ONE*, 14 (5), e0216704. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216704>
- Park, H.-D., Bernasconi, F., Salomon, R., Tallon-Baudry, C., Spinelli, L., Seeck, M., Schaller, K., & Blanke, O. (2018). Neural Sources and Underlying Mechanisms of Neural Responses to Heartbeats, and their Role in Bodily Self-consciousness: An Intracranial EEG Study. *Cerebral Cortex*, 28 (7), 2351–2364. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx136>
- Pigarev, I.N. (2013). Visceral theory of sleep. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatelnosti im. I. P. Pavlova (I. P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity)*, 63 (1), 86–104. (In Russ.).
- Pollatos, O., Herbert, B.M., Mai, S., & Kammer, T. (2016). Changes in interoceptive processes following brain stimulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371 (1708), 20160016. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0016>
- Pollatos, O., & Schandry, R. (2004). Accuracy of heartbeat perception is reflected in the amplitude of the heartbeat-evoked brain potential. *Psychophysiology*, 41 (3), 476–482. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.2004.00170.x>
- Pollatos, O., Yeldesbay, A., Pikovsky, A., & Rosenblum, M. (2014). How much time has passed? Ask your heart. *Frontiers in Neurobotics*, 8, 15.
- Richter, F., Ibáñez, A. (2021). Time is body: Multimodal evidence of crosstalk between interoception and time estimation. *Biological Psychology*, 159, 108017. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2021.108017>
- Schreckenberger, M., Lange-Asschenfeld, C., Lochmann, M., Mann, K., Siessmeier, T., Buchholz, H.-G., Bartenstein, P., & Gründer, G. (2004). The thalamus as the generator and modulator of EEG alpha rhythm: A combined PET/EEG study with lorazepam challenge in humans. *NeuroImage*, 22 (2), 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.01.047>
- Schwarz, M.A., Winkler, I., & Sedlmeier, P. (2013). The heart beat does not make us tick: The impacts of heart rate and arousal on time perception. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75 (1), 182–193. <https://doi.org/10.3758/s13414-012-0387-8>
- Shiffman, H.R. (2003). *Feeling and Perception*. SPb.: Piter. (In Russ.).
- Soghoyan, G., Ledovsky, A., Nekrashevich, M., Martynova, O., Polikanova, I., Portnova, G., Rebreikina, A., Sysoeva, O., & Sharaev, M. (2021). A Toolbox and Crowdsourcing Platform for Automatic Labeling of Independent Components in Electroencephalography. *Frontiers in Neuroinformatics*, 15, 720229. <https://doi.org/10.3389/fninf.2021.720229>
- Sysoeva, O.V., Wittmann, M., Mierau, A., Polikanova, I., Strüder, H.K., & Tonevitsky, A. (2013). Physical exercise speeds up motor timing. *Frontiers in Psychology*, 4, 612.
- Terhaar, J., Viola, F.C., Bär, K.-J., & Debener, S. (2012). Heartbeat evoked potentials mirror altered body perception in depressed patients. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 123 (10), 1950–1957. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2012.02.086>
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind*. Cambridge: MIT Press.
- Wiener, M., & Kanai, R. (2016). Frequency tuning for temporal perception and prediction. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.01.001>
- Wittmann, M., Meissner, K. (2018). The embodiment of time: How interoception shapes the perception of time. In M. Tsakiris & H. De Preester (Eds.), *The Interoceptive Mind: From Homeostasis to Awareness*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198811930.003.0004>
- Wittmann, M., Simmons, A.N., Aron, J.L., & Paulus, M.P. (2010). Accumulation of neural activity in the posterior insula encodes the passage of time. *Neuropsychologia*, 48 (10), 3110–3120. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.06.023>
- Wittmann, M., Simmons, A.N., Flagan, T., Lane, S.D., Wackermann, J., & Paulus, M.P. (2011). Neural substrates of time perception and impulsivity. *Brain Research*, 1406, 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.06.048>

Поступила: 03.12.2022

Получена после доработки: 15.03.2023

Принята в печать: 07.04.2023

Received: 03.12.2022

Revised: 15.03.2023

Accepted: 07.04.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS



Екатерина Дмитриевна Словенко — лаборант Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук; студентка кафедры психофизиологии факультета психологии Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, ekaterinaslovenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1463-6077>

Ekaterina D. Slovenko — Laboratory Assistant, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences; Student, the Department of Psychophysiology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, ekaterinaslovenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1463-6077>



Дина Григорьевна Митюрева — аспирант Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук, лаборатория высшей нервной деятельности человека, dina.mitiureva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7137-1576>

Dina G. Mitiureva — Postgraduate Student, the Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences, dina.mitiureva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7137-1576>



Ольга Владимировна Сысоева — кандидат психологических наук, ведущий научный сотрудник Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук, olga.v.sysoeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>

Olga V. Sysoeva — Cand.Sci. (Psychology), Leading Researcher, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences, olga.v.sysoeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>