

Мир науки. Педагогика и психология / World of Science. Pedagogy and psychology <https://mir-nauki.com>

2025, Том 13, № 2 / 2025, Vol. 13, Iss. 2 <https://mir-nauki.com/issue-2-2025.html>

URL статьи: <https://mir-nauki.com/PDF/112PSMN225.pdf>

5.3.2. Психофизиология (психологические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Александрова, В. В. Сердечных сокращений во время предъявления эмоциональных стимулов / В. В. Александрова, С. В. Чёрный // Мир науки. Педагогика и психология. — 2025. — Т. 13. — № 2. — URL: <https://mir-nauki.com/PDF/112PSMN225.pdf>.

For citation:

Aleksandrova V.V., Chyorny S.V. Central mechanisms of electroencephalographic activity and heart rate during the presentation of emotional stimuli. *World of Science. Pedagogy and psychology*. 2025;13(2): 112PSMN225. Available at: <https://mir-nauki.com/PDF/112PSMN225.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 612.821; 612.822.3

Александрова Вероника Васильевна

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Симферополь, Россия
Таврическая академия

Аспирант кафедры «Общей психологии и психофизиологии»

E-mail: veronika-aleksandrova-1996@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2163-5259>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1260915

Чёрный Сергей Васильевич

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Симферополь, Россия
Доцент кафедры «Общей психологии и психофизиологии»

Кандидат биологических наук

E-mail: neurolab@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6449-6330>

Сердечных сокращений во время предъявления эмоциональных стимулов

Аннотация. Эмоциональные стимулы оказывают значительное влияние на физиологические параметры организма человека включая электрофизиологическую активность головного мозга и частоту сердечных сокращений. Стимулы, вызывающие одни и те же чувства, тем не менее, могут выглядеть по-разному и иметь разное семантическое значение. Одна из возможностей заключается в том, что одни и те же области мозга отвечают за схожесть эмоциональных и нейтральных стимулов, возможно, с разной интенсивностью. В качестве альтернативы эмоциональная схожесть может кодироваться в отдельных областях, возможно, чувствительных к эмоциональной валентности и возбуждению. Мы сравнили между собой стимулы (негативные, нейтральные, позитивные) у здоровых студентов разных групп направлений, используя две меры сходства и две базы данных изображений сложных негативных и нейтральных сцен. Сходство между эмоциональными стимулами было выше, чем между нейтральными, в нижней височной извилине, веретенообразной извилине. Кроме того, только сходство между эмоциональными стимулами было значительно выражено в первичной зрительной коре, передней островковой доле и дорсальной передней поясной извилине. Любопытно, что, несмотря на более выраженное нейронное сходство между эмоциональными стимулами, те же участники не считали их более похожими друг на друга, чем нейтральные стимулы. Целью данного исследования было рассчитать временной интервал между реакциями электроэнцефалографии и частоты сердечных сокращений, чтобы прояснить изменения во

взаимоотношениях между корой головного мозга и центральной нервной системой во время предъявления эмоциональных стимулов.

Ключевые слова: эмоции; стимулы; эмоциональные стимулы; ЭЭГ; ЦНС; ВНС; ЧСС

Введение

Реакции на эмоциональные стимулы включают как субъективное переживание, так и объективно измеримые изменения в работе центральной и вегетативной нервной системы. Одним из важнейших физиологических индикаторов эмоционального состояния является частота сердечных сокращений, которая отражает активность автономной нервной системы в ответ на раздражители. В свою очередь, электрофизиологические показатели, такие как электроэнцефалограмма позволяет судить о процессах аффективной переработки информации на уровне центральной нервной системы.

Взаимодействие между мозгом и сердцем происходит во время эмоционального возбуждения. Для восприятия и обработки эмоций у человека задействовано несколько областей мозга. Префронтальная кора и миндалевидное тело представляют собой суть двух конкретных путей. Префронтальная кора кодирует эмоциональные реакции, длящиеся более 6 секунд, и передаёт соответствующую информацию в другие области центральной вегетативной сети [1], в то время как миндалевидное тело кодирует кратковременные стимулы.

Эмоции — это сложные психофизиологические состояния, сопровождающиеся характерными изменениями в работе центральной нервной системы (ЦНС) и вегетативной нервной системы (ВНС).

Эмоции включают в себя разные субъективные переживания и объективными физиологическими реакциями организма, которые являются результатом активации различных систем организма, включая центральную нервную систему, автономную нервную систему. Мещерякова Н.В. и Семёнов И.И. подробно рассматривают существующие модели между двумя нервными системами. Они подчёркивают, что эмоции являются не только психологическим, но и физиологическим процессом [2; 3].

ВНС и ЦНС тесно взаимодействуют, обеспечивая физиологическую реакцию эмоций, в том числе через участие лимбических структур и ствола мозга. Например, корковые и подкорковые области мозга, включая миндалевидное тело, островковую долю и переднюю поясную извилину, выполняют важнейшие гомеостатические и interoцептивные функции, связанные с динамикой ВНС. ВНС дополнительно регулируется центральной нервной системой, которая состоит из частично кортикальной (медиальная префронтальная и островковая коры), лимбической (передняя поясная кора, гипоталамус, центральное ядро миндалевидного тела, ядро терминальной полоски) и ствола головного мозга (серое вещество периаквадуктального отдела, вентролатеральный продолговатый мозг, парабрахияльное ядро. Миндалевидное тело участвует в восприятии негативных стимулов, что запускает активацию симпатической нервной системы [4].

ЦНС может интегрировать входные данные, поступающие от внутренних физиологических условий и внешних воздействий (включая возбуждение, связанное с выражением эмоций и их регулированием) в ответ на эти изменения и в дальнейшем осуществлять регулирование эмоциональной реакции. Сигналы могут поступать в синусовый узел через ВНС и влиять на частоту сердечных сокращений (ЧСС). Действительно, индивидуальные различия в ЧСС блуждающего нерва были связаны со структурами мозга и цепями, связанными с регуляцией эмоций [5; 6]. Однако колебания частоты сердечных сокращений могут выходить за рамки сигнализации о функционировании регулирующих

областей мозга. Они могут усиливать координацию в связанных с эмоциями нейронных сетях, улучшая способность мозга регулировать эмоции [7]. Следовательно, ЧСС отражает мгновенную отдачу от центральной вегетативной системы и способность человека регулировать выражение эмоций посредством активности симпатических и парасимпатических нервов.

Исследования показывают связь между структурой префронтальной коры (ППК) и модуляцией ЧСС в ответ на эмоциональные стимулы. Как правило, считается, что эта связь отражает роль ППК и латеральной орбитофронтальной коры (ОФК) в контроле ЧСС и регуляции эмоций, при этом более высокая структурная целостность префронтальной коры способствует большей ЧСС и лучшей регуляции эмоций. Однако, будучи системой управления, ПФК должна отслеживать колебания сердечного ритма и реагировать на них [8; 9]. Таким образом, участие в регулирующей обратной связи во время колебаний сердечного ритма может со временем помочь сформировать структуру префронтальной коры, поскольку соответствующие нейронные цепи и связи изменяются.

Эмоции проявляются по мере того, как индивид постоянно оценивает объекты, события и ситуации с точки зрения их соответствия его / ее потребностям, целям, ценностям и общему благополучию (оценка). Обнаружение значимого события вызывает адаптивную эмоциональную реакцию, которая мобилизует ресурсы, позволяющие человеку справиться с ситуацией. Внимание в первую очередь задействуют лобно-теменные сети корковых областей. Недавние нейробиологические исследования показали, что обработка информации в коре головного мозга, связанная с сердцебиением (т. е. вызванная сердцебиением активность мозга), может играть решающую роль в формировании восприятия, процессов, связанных с индивидуальностью, и эмоциональных процессов [10].

Испытуемые

В исследовании приняли участие студенты 2–3 курсов бакалавриата разных групп направлений (психологи, медики, математики) КФУ имени В.И. Вернадского, средний возраст 18–21 год.

Материалы

ЭЭГ (с частотой дискретизации 500 Гц, аппаратный фильтр нижних частот на частоте 131 Гц) была записана с помощью нейрон-спектр 5 21 активных электродов, подключенных в соответствии с международной системой 10–20. ЧСС регистрировалась синхронно. Кроме регистрации ЭЭГ, отдельно анализировались зрительные вызванные потенциалы, такие как компоненты P1 и P2, отражающие ранние стадии обработки визуальной информации.

Эмоциональные стимулы были 91 картинок по блокам 44 негативные, 44 нейтральные, 44 позитивные. Из стимулов были составлены псевдослучайные сочетания: по одному предъявлению эмоциогенных стимулов и 47 предъявлений чёрного экрана с красной точкой по центру. Каждый стимул предъявлялся испытуемому на экране монитора в течение 1 000 мс (1 с), а асинхронность начала предъявления стимулов всегда составляла от 2 000 до 5 000 мс. Задержки между последовательными экспозициями не было.

Результаты

Анализ данных проводился с использованием дисперсионного анализа повторных измерений (ANOVA), а также t-критерия Стьюдента. Статистическая значимость принималась при $p < 0,05$. Обработка данных выполнена в программе STATISTICA 12.0.

Средняя частота сердечных сокращений (ударов в минуту) 72,73 (10,51) всего 72,73 (9,94). В настоящем исследовании под «временем реакции» понимается латентный период между началом предъявления визуального стимула и физиологическим ответом, зафиксированным с помощью ЭЭГ или ЧСС. Это значение отражает общую активацию вегетативной или центральной нервной системы в ответ на стимул, а не моторный отклик испытуемого. Средние значения времени реакции для каждого эмоционального стимула факторы приведены в таблице 1. По времени реакции были проведены два отдельных дисперсионных анализа повторных измерений с эмоциональным отвлекающим фактором (три уровня: негативные, нейтральные и позитивные) и группой ЧСС (два уровня: высокая и низкая) в качестве факторов. Хотя и время реакции, и количество ошибок для стимулов позитивные были самыми медленными и высокими, времени реакции $p = 0,06$. Позитивные стимулы вызывали более высокую частоту, чем нейтральные стимулы $p < 0,05$. Наконец, взаимодействие между эмоциональным фактором и ЧСС было значительным для $p = 0,09$. Последующий анализ, проведенный по этому взаимодействию, выявил нейтральные $p = 0,01$ и негативные стимулами $p = 0,04$ в группе с высоким уровнем ЧСС. Кроме того, группа с низкой ЧСС показала более быструю реакцию на негативные по сравнению с позитивными $p = 0,048$ и нейтральными $p = 0,01$.

Таблица 1

**Средние значения и стандартные отклонения (в скобках)
времени реакции при восприятии эмоциональных стимулов**

Название	Негативные	Нейтральные	Позитивные
Высокая ЧСС	1163,210 (259,848)	1079,277 (223,196)	1115,146 (246,435)
Низкая ЧСС	1006,353 (198,167)	1038,763 (176,718)	959,964 (187,165)
Итого	1084,785 (240,664)	1059,018 (198,870)	1040,555 (233,482)

Составлено автором

Амплитуда мозговой активности в лобных долях была выше при восприятии негативные по сравнению с нейтральными стимулами $p = 0,050$. Были выделены различные компоненты ЭЭГ в ответ на зрительную стимуляцию, отражающие временную динамику экзогенного внимания к эмоциональным стимулам.

Позитивные стимулы, вызывали наибольшую амплитуду P1 в теменно-затылочной области. Было установлено, что стимулы негативные, вызывающие страх, требует немедленной и быстрой реакции, в то время как стимулы, вызывающие нейтральные, этого не делают. С другой стороны, компоненты ЭЭГ, достигающие пика примерно через 200 мс, свидетельствуют об увеличении внимания для обработки стимулов, вызывающих негативные. Кроме того, негативные стимулы вызывают более высокие амплитуды, чем позитивные стимулы, но эта модуляция характерна только для группы с высоким уровнем ЧСС. Таким образом, ЧСС становится показателем эмоциональных стимулов, было обнаружено, что высокая частота сердечных сокращений связана с эмоциональными реакциями. Хотя частоту сердечных сокращений в состоянии покоя можно рассматривать как индивидуальную характеристику, она не входит в число характеристик, которые неоднократно связывались с негативной реакцией на негативные стимулы. Однако результаты настоящего исследования позволяют предположить, что ЧСС может быть более информативным показателем процессов, лежащих в основе внешнего внимания к эмоциональным стимулам, чем индивидуальная тревожность или чувствительность к негативу. Несмотря на то, что полученные результаты дают представление о динамике мозга, связанной с привлечением внимания отдельными эмоциями, необходимо рассмотреть некоторые потенциальные ограничения. В этом смысле показатели валентности и возбуждения были значительно выше для негативных, чем для позитивных стимулов.

Обсуждение

Эмоциональные стимулы могут привлекать внимание быстрее и дольше препятствовать отвлечению внимания, чем нейтральные стимулы. Как только внимание привлечено и задействовано эмоциональными стимулами, оно может дольше задерживаться на их местоположении и облегчать обработку последующих неэмоциональных целевых стимулов, появляющихся в том же месте. Эмоциональные стимулы представлены более надежными нейронными сигнатурами, чем нейтральные, и, следовательно, могут извлечь выгоду из преимущественного доступа к дальнейшей когнитивной обработке, контролю поведения и осознанию. Однако негативные и позитивные эмоции могут мотивировать к разным стратегиям реагирования. Например, негативный стимул может вызвать избегающее поведение, в то время как позитивный стимул может побудить к приближающемуся поведению. Таким образом, эмоциональные стимулы могут либо вызывать разные поведенческие реакции, либо просто обозначать значимость.

В нашем исследовании изучалась взаимосвязь между эмоциональными стимулами и частотой сердечных сокращений. Предварительные оценки выявили значительно более высокий уровень негативных эмоций у испытуемых с более низкой ЧСС в состоянии покоя. Анализ после предоставления стимулов показал, что у испытуемых, у которых ЧСС в состоянии покоя увеличилась, также наблюдалось более значительное снижение уровня негативных эмоций. Модель посредничества, включающая всех участников, показала, что изменения в частоте сердечных сокращений в состоянии покоя значительно опосредуют взаимосвязь между эффективностью согласованными колебаниями ЧСС во время предъявления эмоциональных стимулов и изменениями в уровне негативных эмоций. Примечательно, что этот опосредованный эффект значительно усиливался в зависимости от состояния и был значимым. Эти результаты свидетельствуют о том, что изменения ЧСС в состоянии покоя опосредуют механизм, с помощью которого когерентная амплитуда колебаний сердечного ритма снижает негативные эмоции, и дают представление о физиологических путях, с помощью которых ЧСС может модулировать эмоциональные состояния.

Таким образом, реакция ЦНС на неприятные стимулы происходит быстрее, чем реакция на приятные стимулы. Однако, когда эмоциональные стимулы уже знакомы и приятны, реакция префронтальной коры мозга происходит медленно, в то время как ЦНС реагирует автоматически так же, как и на незнакомые стимулы. Напротив, даже если эмоциональные стимулы уже были знакомы, неприятные стимулы могут вызывать сильные реакции.

Выводы

Различные типы эмоциональных стимулов (негативные, нейтральные, положительные) вызывают специфические паттерны мозговой активности, а также изменения в ЧСС. Мы проанализировали записи ЭЭГ и ЧСС после воздействия эмоциональных стимулов, чтобы выявить разницу во времени между реакциями ЦНС и ВНС. Мы обнаружили, что мозг реагирует на незнакомые эмоционально приятные стимулы быстрее, в то время как мозг и ВНС реагируют на незнакомые неприятные стимулы почти одновременно. Активация ВНС в ответ на незнакомые неприятные стимулы была более быстрой, чем в ответ на приятные стимулы. Мозг быстрее реагировал на знакомые неприятные стимулы. Наши результаты количественно описывают взаимосвязь между ЭЭГ и ЧСС во время эмоционального возбуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ruiz-Padial E., Vila J., Thayer J.F. The effect of conscious and non-conscious presentation of biologically relevant emotion pictures on emotion modulated startle and phasic heart rate. *Int. J. Psychophysiol.* 2011. Vol. 79. P. 341–346. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2010.12.001.
2. Мещерякова Н.В., Семёнов И.И. Психофизиологические механизмы регуляции сердечно-сосудистой активности при эмоциональных реакциях. *Психологический журнал.* — 2020. — Т. 41, № 2. — С. 45–57.
3. Thayer J.F., Lane R.D. The Role of the Autonomic Nervous System in Emotion Regulation and the Pathophysiology of Affective Disorders. *Frontiers in Psychology.* 2022. 13, 858913. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.858913.
4. Gianaros P.J., Sheu L.K. Neurocognitive and Physiological Responses to Emotional Stressors: Implications for Heart Rate Variability. *Journal of Cognitive Neuroscience.* 2021. Vol. 33. № 12. P. 2211–2233. DOI: 10.1162/jocn_a_01788.
5. Koenig J., Abler B., Agartz I., Åkerstedt T., Andreassen O.A., Anthony M., Bär K.J., Bertsch K., Brown R.C., & Brunner R. Cortical thickness and resting-state cardiac function across the lifespan: A cross-sectional pooled mega-analysis. *Psychophysiology.* 2021. Vol. 58. № 7. DOI: 10.1111/psyp.13688.
6. Смирнова А.И., Борисов О.В. Связь между активностью мозга и сердечно-сосудистыми реакциями при эмоциональных нагрузках: результаты ЭЭГ и ЭКГ исследования. *Психофизиология и нейропсихология.* — 2022. — Т. 5, № 1. — С. 102–112.
7. Шишкин А.И., Черкасова Н.В. Активация симпатической системы в ответ на эмоциональные стимулы и её влияние на физиологические параметры человека. *Психофизиология.* — 2021. — Т. 10, № 3. — С. 130–140.
8. Chalmers D.J., Mather A.J., Sanz M. The Role of Heart Rate Variability in Emotional Regulation: A Review. *Psychological Science.* 2018. Vol. 29(12). P. 2109–2123. DOI: 10.1037/pspi0000255.
9. Падун М.А. Регуляция эмоций и её нарушения // *Вестник Южно уральского государственного университета. Серия: Психология.* — 2020. — Т. 13, № 4. — С. 48–57.
10. Azzalini D., Rebollo I., Tallon-Baudry C. Visceral Signals Shape Brain Dynamics and Cognition. *Trends Cogn Sci.* 2019. Vol. 23. № 6. P. 488–509. DOI: 10.1016/j.tics.2019.03.007.

Aleksandrova Veronika Vasilievna

Crimean Federal V.I. Vernadskiy University of the Institute Tauric Academy, Simferopol, Russia
Tauric Academy

E-mail: veronika-aleksandrova-1996@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2163-5259>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1260915

Chyorny Sergey Vasilievich

Crimean Federal V.I. Vernadskiy University of the Institute Tauric Academy, Simferopol, Russia
Tauric Academy

E-mail: neurolab@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6449-6330>

Central mechanisms of electroencephalographic activity and heart rate during the presentation of emotional stimuli

Abstract. Emotional stimuli have a significant impact on the physiological parameters of the human body, including the electrophysiological activity of the brain and heart rate. Stimuli that evoke the same feelings may nevertheless look different and have different semantic meaning. One possibility is that the same brain regions are responsible for similarity between emotional and neutral stimuli, perhaps with different intensities. Alternatively, emotional similarity may be encoded in separate areas, perhaps sensitive to emotional valence and arousal. We compared between stimuli (negative, neutral, positive) in healthy students from different directional groups using two similarity measures and two image databases of complex negative and neutral scenes. Similarity between emotional stimuli was higher than between neutral stimuli in the inferior temporal gyrus, spindle gyrus. In addition, only similarity between emotional stimuli was significantly higher in primary visual cortex, anterior insular lobe, and dorsal anterior cingulate gyrus. Interestingly, despite the more pronounced neural similarity between emotional stimuli, the same participants did not consider them more similar to each other than neutral stimuli. The aim of this study was to calculate the time interval between electroencephalography and heart rate responses to elucidate changes in the relationship between the cerebral cortex and the central nervous system during the presentation of emotional stimuli.

Keywords: emotions; stimuli; emotional stimuli; EEG; CNS; ANS; heart rate