

Нейрокогнитивные аспекты процессов тайминга и слухомоторной синхронизации

Ковалева А.В.

*Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина
(ФГБНУ «НИИИФ» имени П.К. Анохина),
г. Москва, Российская Федерация*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>, e-mail: a.kovaleva@nphys.ru

Статья посвящена обзору современной зарубежной и отечественной литературы, связанной с изучением нейрокогнитивных аспектов чувства времени, тайминга и сенсомоторной синхронизации. Эти фундаментальные способности человека и животных являются существенной составляющей многих когнитивных процессов: речи, памяти, внимания, планирования и прогнозирования. Нарушения процессов тайминга и сенсомоторной интеграции и синхронизации сопровождают ряд расстройств в двигательной и когнитивной сферах: речевые и языковые проблемы, аутизм, СДВГ, нейродегенеративные заболевания, мнестические расстройства. Многие мозговые структуры участвуют в реализации процессов тайминга: моторная кора, мозжечок, базальные ганглии, некоторые стволовые структуры. Эмоциональная окраска стимулов меняет субъективное восприятие длительности их предъявления. Важно отметить положительную роль тренировок чувства ритма и движений под ритмические звуки и музыку при многих заболеваниях.

Ключевые слова: тайминг, чувство времени, сенсомоторная синхронизация, теппинг, когнитивные функции, эмоции.

Для цитаты: Ковалева А.В. Нейрокогнитивные аспекты процессов тайминга и слухомоторной синхронизации [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 2. С. 82—92. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090107>

Neurocognitive aspects of timing and sensorimotor synchronization

Anastasia V. Kovaleva

*P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology,
Moscow, Russia,*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>, e-mail: a.kovaleva@nphys.ru

The article presents a review of the neurocognitive studies of time perception, timing, and sensorimotor synchronization. These fundamental abilities of humans and animals are an essential component of many cognitive processes: speech, memory, attention, planning, and forecasting. Violations of the processes of timing and sensorimotor integration and synchronization accompany some disorders in the motor and cognitive spheres: speech and language problems, autism, ADHD, neurodegenerative diseases, memory disorders. Many brain structures are involved in the implementation of timing processes: motor cortex, cerebellum, basal ganglia, some brain stem structures. The emotional valence and arousal of stimuli change the subjective perception of their duration. It is important to note the positive role of training time and rhythm perception and movements to rhythmic sounds and music in the rehabilitation process.

Keywords: timing, time perception, sensorimotor synchronization, tapping, cognitive functions, emotions.

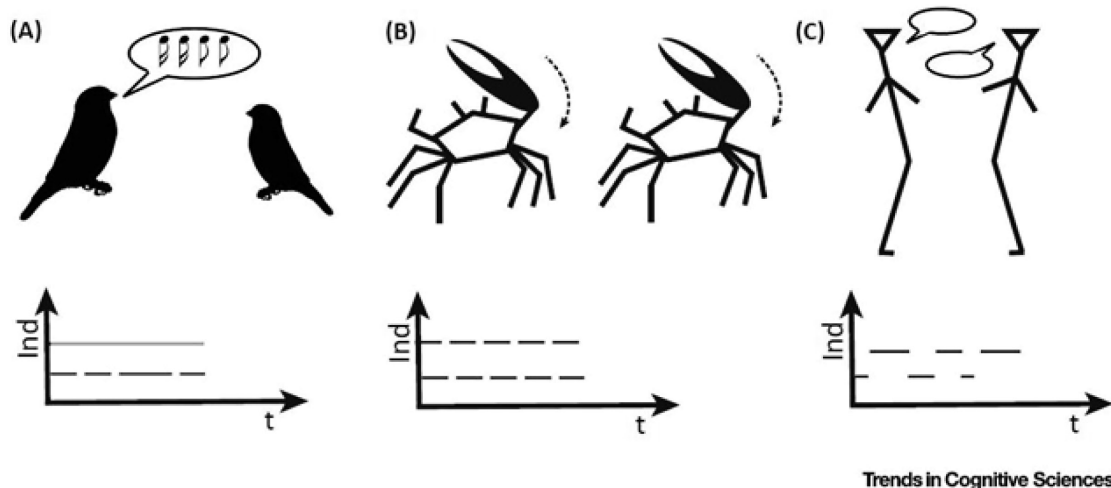
For citation: Kovaleva A.V. Neurocognitive aspects of timing and sensorimotor synchronization [Elektronnyy resurs]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 2, pp. 82—92. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090207> (In Russ.)

Введение

Способность к отсчету временных интервалов разных длительностей, к точной оценке продолжительности событий, а также к синхронизации своей активности с внешними стимулами и другими представителями своего и других видов является фундаментальным свой-

ством организмов как живых систем, т. е. оно определяет возможности социальной коммуникации, как в сообществах, так и между его особями (рис. 1) [23].

Тайминг и способность к сенсомоторной синхронизации играют одну из ключевых ролей в парных взаимоотношениях между матерью и ребенком, особенно в начале жизни ребенка (на младенческой ста-



Trends in Cognitive Sciences

Рис. 1. Примеры ритмичности при социальном взаимодействии (Socialtiming) [23]. (А) — временная структура сольной песни одной птицы (пунктирная линия), пока другая птица слушает (серая сплошная линия) и рассматривает первую в качестве потенциального партнера; (В) — синхронные движения крабов в процессе плавания; (С) — временная структура диалога двух людей. Ind — индивидуальная активность, t — время

дии онтогенеза): эффективность этого взаимодействия зависит от способности участников такой детско-родительской пары следовать общему коммуникативному ритму [33].

Ряд расстройств в двигательной и когнитивной сферах: речевые и языковые проблемы, аутизм, синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), нейродегенеративные заболевания, мнестические расстройства, — сопровождаются нарушениями процессов тайминга и сенсомоторной интеграции и синхронизации.

В равной мере вовлечение эмоций в оценку времени может нарушать этот процесс, меняя наше субъективное восприятие времени.

Несмотря на значительное количество работ, посвященных изучению восприятия и воспроизведения временных интервалов, этот вопрос остается недостаточно изученным.

Кроме того, развитие этой важной способности организма в целом и нервной системы, в частности, далеко не в полной мере используется в реабилитации пациентов с различными двигательными и когнитивными расстройствами.

Настоящий обзор представляет собой анализ современных подходов к изучению процессов тайминга и сенсомоторной синхронизации, основных мозговых структур, задействованных в этих процессах, связи их с когнитивными (в частности с управляющими) функциями, а также к изучению влияния эмоциональной окраски стимула на восприятие его длительности.

Все мы ощущаем, что имеем чувство времени, но очевидно, что это чувство отличается от всех остальных. Несмотря на наличие субъективного восприятия времени, не существует специального сенсорного органа для него, аналогичного другим ощущениям (зрению, слуху и др.). Однако значимость этого ощущения несомненна, поскольку мы живем в условиях

постоянного действия различных внешних стимулов, в том числе повторяющихся с различной периодичностью, к которым необходимо адаптироваться. Таким образом, от того, насколько точно человек чувствует течение времени, насколько хорошо у него развита способность к оценке временных интервалов и способность синхронизировать свою активность с внешними объектами, задающими ритм, зависит его приспособленность к окружающей среде и способность предсказывать будущие события, предвидеть появление того или иного явления.

Тайминг, или оценка длительности временных интервалов (interval timing), обычно определяется как различие длительностей в интервалах от секунд до минут, но может быть расширен и до миллисекундных и часовых диапазонов [20]. Существует несколько общепринятых методов оценки чувства времени, тайминга, у человека [23; 33]: вербальная оценка, при которой человек должен оценить длительность целевого предъявляемого интервала словами, используя единицы измерения времени (секунды, минуты); воспроизведение интервала, предъявленного в виде непрерывного звука или вспышки, а затем участник должен воспроизвести его длительность путем некоего действия; продукция интервала, когда экспериментатор описывает временной интервал в неких единицах (секунды, минуты), а участник должен его продемонстрировать каким-то способом (чаще всего это выражается в виде ударов пальцем в начале и конце интервала); сравнение интервалов или длительностей, которое происходит аналогично тому, что используется в традиционной психофизике (участник должен оценить два последовательных интервала на предмет того, длиннее или короче второй по сравнению с первым (эталоном)).

В отечественной литературе используются аналогичные методики, однако термина, подобного англоязычному термину «timing», практически не встречается.

ся. Как правило, используются такие понятия, как чувство времени, чувство ритма, и более узкие термины (сенсомоторная синхронизация) [1]. В связи с этим, в настоящем обзоре (на основании проанализированной литературы) под таймингом будем понимать общую способность человека и некоторых животных к восприятию, воспроизведению и продукции временных интервалов различной модальности (слуховой, зрительной и др.) в широком диапазоне длительностей (от миллисекундных до минутных интервалов).

Подходы к изучению процессов тайминга и сенсомоторной синхронизации

Тайминг принято разделять на перцептивный (*perceptual timing*) и двигательный, или моторный (*motor timing*). Перцептивный тайминг включает в себя сенсорное восприятие либо длительности стимула, либо длительности интервала между стимулами. Моторный тайминг предполагает двигательное выполнение (как правило, это теппинг пальцем или кистью, иногда ногами) ритмического движения синхронно со стимулом с заданным интервалом, либо воспроизведение ритма по памяти, т. е. сенсомоторную синхронизацию.

Сенсомоторная синхронизация (СМС) — это процесс, при котором испытуемые синхронизируют свои действия с внешним ритмом, обычно задаваемым звуковым или зрительным ритмическим стимулом [33; 35].

Формирование сенсомоторной синхронизации происходит в возрасте примерно до 8 лет [4; 14; 31]. Его развитие идет параллельно с развитием речи, письма, двигательных навыков, а также произвольности в поведении ребенка, социальной коммуникации. Так, например, у детей, страдающих синдромом дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ) выявляются сложности с оценкой временных интервалов, их различением и, в целом, отклонения в субъективном восприятии течения времени [7].

Речевые способности также тесно связаны с чувством ритма и таймингом [26]. Например, показано, что у взрослых, страдающих заиканием, слухомоторная синхронизация нарушена [2].

Теппинг пальцем синхронно с внешним ритмом (чаще это звуки метронома) остается весьма популярной парадигмой в изучении двигательного-когнитивного взаимодействия из-за своей простоты и долгой истории. Основные механизмы СМС до сих пор изучаются преимущественно при помощи теппинга пальцем, а дискретная природа этих ударов делает результаты близкими к музыкальному исполнению [35].

В психологических и психофизиологических исследованиях ритмическая активность в основном исследуется с использованием двух типов заданий во время теппинга: спонтанный (произвольный) ритм (*spontaneous motor tempo, SMT*) и задания на сенсомоторную синхронизацию (*sensorimotor synchronization task, SMS*) с ритмами разной частоты (длительности

интервалов). Так, в обзоре Grahn (2012) указано, что наиболее адекватными интервалами для ритмических заданий являются интервалы между стимулами от 200 до 2000 мс [22], однако в разных исследованиях применяются разные параметры звуковых стимулов (табл. 1).

Таблица 1

Используемые в исследованиях частоты задаваемых ритмических стимулов

Параметры предъявляемых ритмических стимулов	Авторы
667 мс (1,5 Гц), 500 мс (2 Гц), 250 мс (2,5 Гц)	Corriveau, Goswami 2009 [9]
2000 мс (0,5 Гц), 667 мс (1,5 Гц), 500 мс (2 Гц), 250 мс (2,5 Гц)	Cosetal., 2015 [10]
667 мс (1,5 Гц), 500 мс (2 Гц)	Tierne, Kraus, 2013 [42]
600 мс, 800 мс	Janzenetal., 2014 [44]
1364 (44 bpm*), 1200 мс (50 bpm)	Zachopoulou, 2000 [13]

Примечание: «*» — bpm (beats per minute), удары в минуту.

Связь тайминга с когнитивными функциями и мозговыми структурами

Восприятие и воспроизведение ритма является согласованным процессом одновременной работы слуховых, моторных и префронтальных областей коры больших полушарий.

Слухомоторная синхронизация предполагает, как тщательность слуховой обработки, для более точной оценки временных интервалов, так и строгий моторный контроль над совершаемым движением, а также тонкую координацию между ними. Как было описано выше, эти процессы играют важную роль в образовании, и их согласованность может влиять на эффективность обучения ребенка.

Очевидно, что для устойчивого удержания точного воспроизведения ритмических последовательностей, интервалов различных длительностей и, в целом, четкого понимания временных соотношений между внешними событиями и собственными ответными реакциями необходимо участие когнитивных и управляющих (исполнительных, *executive functions*) функций. Это предполагает, в частности, соответствующую направленность внимания, способность к его переключению, удержание информации в рабочей памяти, планирование, прогнозирование (в частности, способность к антиципации).

Исследования с применением функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) показали, что при восприятии ритмических стимулов активируются такие анатомические области мозга, как премоторная кора, дополнительная моторная зона (*supplementary motor area, SMA*) и мозжечок, которые играют важную роль в двигательном контроле. Эти данные свидетельствуют о том, что информация о ритме может быть представлена в моторной системе мозга как информация о последовательности движений тела [39].

В целом, участки головного мозга, задействованные в процессах тайминга, достаточно обширны, и включают в себя как корковые, так и подкорковые структуры (рис. 2) [28].

Есть данные о том, что механизмы сенсомоторной синхронизации с быстрыми и медленными ритмами неодинаковы и обеспечиваются различными мозговыми структурами [3; 23; 34].

Более тесная связь с исполнительными функциями доказана для длинных интервалов (более 1 секунды, частота менее 60 уд/мин). Показано, что воспроизведение подобных длительных интервалов вовлекает такие области префронтальной коры (ПФК), которые пересекаются с областями коры, участвующими в осуществлении исполнительных функций [12]. Тем не менее, в некоторых исследованиях показано, что воспроизведение коротких интервалов с периодом менее 1 секунды также требует когнитивного контроля [24], т. е. предполагаются различные нейронные механизмы синхронизации с интервалами менее и более 1 секунды [22; 27; 34]. В частности, перцептивное различие интервалов длиннее 1 секунды предполагает линейное представление о времени, а интервалов короче 1 секунды — нелинейное [27]. В связи с этим авторы полагают, что за это ответственны различные мозговые механизмы, которые часто называют автоматическими (реакция на короткие интервалы) и когнитивными (реакция на длительные интервалы) [34]. Воспроизведение интервалов длительностью более 1 или 2 секунд уже задействует рабочую память и связанные с ней области коры. Так, например,

активность дорсолатеральной префронтальной коры, которая связана с рабочей памятью и другими исполнительными функциями, растет при увеличении длительности интервалов [34]. Эти результаты позволяют предположить, что данная область связана с так называемым «когнитивным» таймингом и, следовательно, с исполнительными функциями.

Особо стоит обратить внимание на роль мозжечка в процессах тайминга и сенсомоторной синхронизации. В последнее время в исследованиях, в том числе проведенных на человеке, было неоднократно показано, что мозжечок является не только двигательным, но также и когнитивным центром нервной системы: с сенсомоторными областями коры он совместно участвует в обеспечении моторного контроля, а с ассоциативной корой — в когнитивных функциях [17]. Показано, что мозжечок, помимо двигательных функций, вовлечен и в процессы вербальной и невербальной рабочей памяти, речи, а также показана его роль в процессах отсчета времени, или тайминга [36], и усвоения последовательности стимулов [6].

Мозжечок, являющийся одной из основных структур мозга, ответственных за тайминг, активируется также и при выполнении задач респондентом на рабочую память и управляющие функции [47]. В частном случае улучшение восприятия времени, через тренировку чувства ритма, приводит к улучшению психофизиологических и когнитивных показателей и улучшению показателей управляющих функций [40]. Управляющие функции могут оказывать влияние на результативность

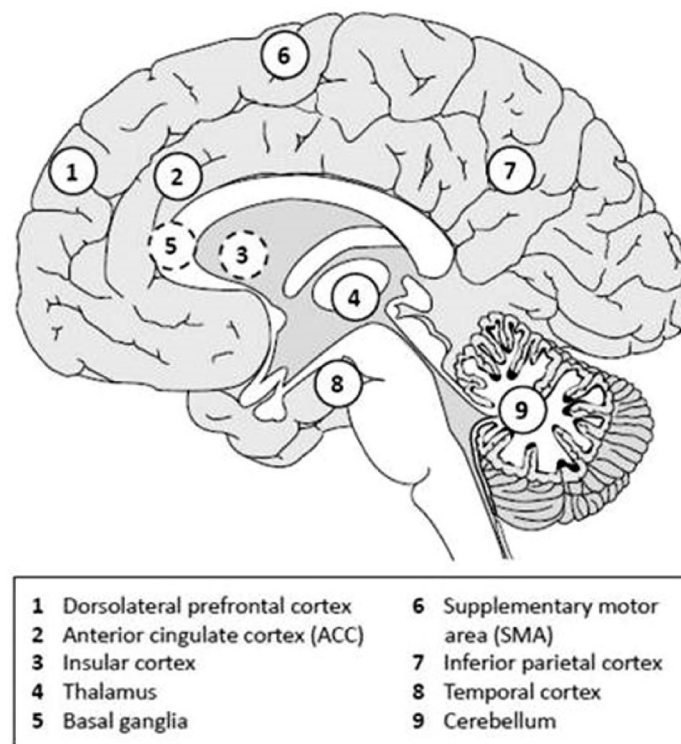


Рис. 2. Корковые и подкорковые структуры, вовлеченные в обработку ритмических стимулов и тайминг [28]:

1 — дорсолатеральная префронтальная кора; 2 — передняя поясная кора; 3 — островковая кора; 4 — таламус; 5 — базальные ганглии; 6 — дополнительная моторная область; 7 — нижняя теменная кора; 8 — височная кора; 9 — мозжечок

выполнения задания на простой ритмический праксис, когда необходимо синхронизировать свои удары с заданным ритмом [15; 44]. Причем управляющие функции участвуют не только в синхронизации собственно движения (удара руки) с заданным ритмом, но и в контроле над реализацией этой синхронности (насколько точно удар попадает в заданный ритм).

По-видимому, различные области мозжечка связаны с разными аспектами тайминга, в частности с его перцептивной (восприятие временных интервалов) и двигательной (собственно выполнение ритмических действий) составляющими (рис. 3) [11].

Помимо перечисленных выше отделов мозга, показана роль еще одной структуры области ствола в процессах сенсомоторной синхронизации — нижней оливы. Это крупное ядро в роstralной части продолговатого мозга. Оно получает входы по нескольким путям от вестибулярной системы, спинного мозга и коры больших полушарий. Нейроны нижней оливы дают начало оливо-мозжечковому тракту, который пересекает среднюю линию мозга и входит в мозжечок через контралатеральную нижнюю ножку. Аксоны этого тракта распределены по всем отделам мозжечка и посылают коллатерали к глубинным ядрам мозжечка и коре мозжечка. Оливо-мозжечковая система вовлечена в неявную оценку времени (*implicit timing*) [21].

Итак, усвоение и воспроизведение ритмических временных интервалов, относящиеся к функции тайминга, имеют стойкую взаимосвязь с другими исполнительными функциями — рабочей памятью, вниманием, скоростью процессинга. Нарушение функции тайминга тесно связано с нарушениями исполнительных функций.

В исследованиях чувства ритма у детей с повреждениями области мозжечка и ствола (в результате лечения злокачественных опухолей) отмечается тесная связь результатов в заданиях на воспроизведение ритмов с результатами некоторых нейропсихологических тестов [14] и заданий на исполнительные функции, в частности, на процессинг и рабочую память [43].

Связь тайминга с эмоциями

К настоящему времени принято выделять несколько основных когнитивных и аффективных факторов, влияющих на тайминг: направленность внимания, модальность стимула, уровень активации (*arousal*), аффективная валентность (знак эмоции) и др. [20].

Еще Пол Фрасси (1978) писал о том, что тайминг и восприятие времени связаны не только с когнитивными функциями, но и с нашими эмоциональными состояниями [20]. Несмотря на растущие в геометрической прогрессии исследования аспектов, связанных с эмоциями, работы по изучению взаимоотношений между эмоциями и оценкой временных интервалов (*interval timing*) остаются крайне редкими.

Модели внутренних часов (*internal clock models*) говорят о том, что наше ощущение временной перспективы вызвано разными процессами: распределением внимания, скоростью самих часов, нарушениями (искажениями) памяти — и возникает на разных уровнях обработки информации о времени. Разные механизмы приводят к различным поведенческим паттернам [5].

Сегодня принято считать, что когда невременной или эмоциональный стимул (событие) захватывает внимание, то ресурсы по обработке информации могут быть отвлечены от таймера (измерителя времени). Это приводит к тому, что субъективно может казаться, что время течет быстрее, чем на самом деле [5; 32]. Этот укорачивающий эффект может быть объяснен потерей импульсов (сигналов) от пейсмекера из-за переключения внимания.

С другой стороны, субъективное ощущение времени может растягиваться (длительность стимула или события кажется больше) в результате роста активации в организме (*arousal*). В соответствии с моделью внутренних часов особая роль отводится дофаминэргической системе и некоторым другим медиаторам. Так, считается, что дофамин ускоряет ход биологических часов, а холинэргическая система оказывает свое дей-

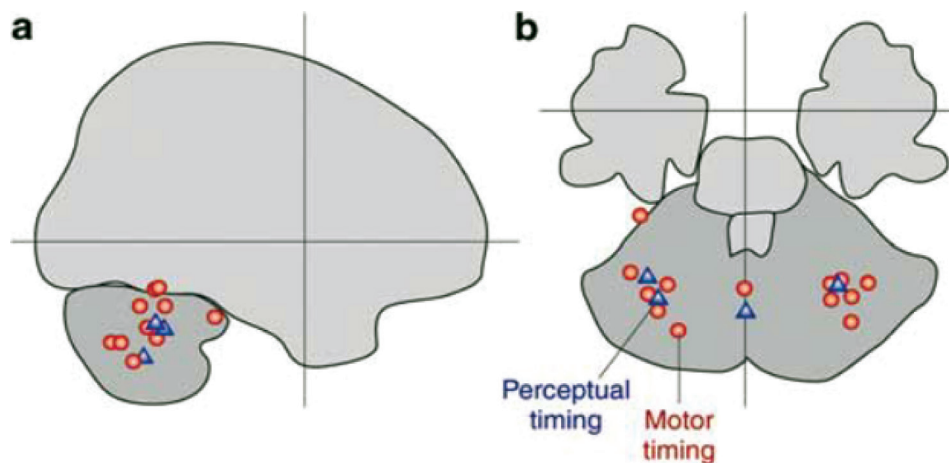


Рис. 3. Локализация участков, связанных с перцептивным и моторным таймингом в мозжечке [11]:

а — вид сбоку (сагиттальный), б — вид снизу. Синие треугольники — области, задействованные в перцептивном тайминге, красные кружки — области, задействованные в моторном тайминге

ствии преимущественно на память о времени [8; 30]. Высвобождение норадреналина, который влияет на процессы внимания, вероятно, воздействует на наше восприятие времени путем изменения задержки (латентности) момента открывания/закрывания переключателя внимания [16].

Направление, выраженность, скорость появления и стойкость нарушений чувства времени могут варьировать в зависимости от того, какие специфические механизмы (внимание, часы, память) изменены в каждом конкретном случае. Главный вопрос заключается в том, какие из этих механизмов вовлечены в воздействие эмоций на восприятие времени с учетом используемого эмоционального стимула.

Для изучения воздействия эмоциональных стимулов чаще всего используют стандартные наборы из международных баз зрительных (IAPS) [29] и слуховых (IADS) [4] стимулов. Так, с использованием базы IADS Noulhianeetal [25] было выявлено, что эмоциональные стимулы длительностью до 4 секунд оцениваются как более длительные по сравнению с нейтральными вне зависимости от их силы (рейтинга по уровню активации, или arousal). Авторы предполагают, что вызванная эмоциями активация временно повышает скорость хода внутренних часов, таким образом приводя к восприятию стимулов как более длительных, до тех пор, пока скорость часов не вернется к исходному уровню через 3—4 секунды. Это одно из первых исследований, в которых показано, что эффект эмоций на восприятие времени может быть относительно короткоживущим и максимален для длительностей стимулов около 2 секунд. Особый интерес в этом исследовании вызывает тот факт, что негативные звуки расцениваются как более длительные по сравнению с позитивными, поскольку, вероятно, негативные вызывают большую активацию.

На эмоциональных изображениях из базы IAPS [41] было показано, что на негативные стимулы человек обращает больше внимания, чем на позитивные, и последние расцениваются как более короткие. Кроме того, измерение кожной проводимости, которая тесно коррелирует с изменениями в эмоциональной сфере, растет с ростом активации. На одном и том же высоком уровне активации эмоции, по-видимому, организуются вокруг двух мотивационных систем: отрицательного подкрепления (защитная, оборонительная) и положительного подкрепления. Следовательно, в условиях высокой активации и отрицательного подкрепления (негативных эмоций), когда запускается защитное двигательное поведение, активизируются способности генерировать быстрые реакции (атака либо избегание). Это приводит к активации вегетативной нервной системы (росту давления, расширению зрачка, повышению тонуса мышц), что будет ассоциироваться с ускорением хода внутренних часов. Действительно, когда нам кажется, что время идет быстрее, то и готовность совершить быструю ответную реакцию возрастает.

В условиях низкой активации захват внимания характеристиками, которые определяют валентность

(знак) эмоционального стимула, уводит процессы обработки информации от оценки времени [5].

Во всех угрожающих ситуациях люди имеют тенденцию переоценивать длительность событий. В подобных ситуациях растет уровень активации, а он ускоряет ход часов и в некоторых случаях привлекает внимание к изменению длительности тех стимулов, которые связаны с вызвавшими страх событиями (больше внимания уходит на то, чтобы оценить по времени те события, которые связаны со страхом, и меньше внимания направлено на тайминг других, нейтральных или приятных событий в это же время).

Несмотря на то, что уровень активации является важным фактором в обеспечении эффектов эмоций на восприятие времени, это не единственный фактор. Дроит и Волететаль (2004) обнаружили, что злые лица приводят к наибольшим ошибкам в оценке времени, испуганные лица стоят на втором месте, далее уже следуют счастливые и печальные лица [19]. Это согласуется с идеями о том, что злость должна вызывать наибольшую активацию.

Таким образом, наше чувство времени фундаментально неотделимо от нашего субъективного ощущения от окружающей среды, и восприятие времени может быть чувствительным показателем базовых функций эмоций.

Возможности развития и коррекции способности к таймингу и сенсомоторной синхронизации

Десятилетия исследований показали, что сенсорные воздействия могут влиять на двигательное обучение и реабилитацию [38]. Меняя сенсорные аспекты окружающей среды, в которой происходит обучение, например, подавая зрительные или слуховые сигналы-подсказки в дополнение к двигательному акту, можно влиять на результативность движения и модулировать эффективность двигательного обучения и реабилитации. Исследования, посвященные ритму и его мозговым субстратам, позволили предположить, что взаимодействия между ритмическим воздействием и двигательной ответной реакцией могут эффективно применяться при реабилитации двигательных расстройств.

Двигательная реабилитация, вообще, широко применяется для развития координации и регуляции обработки сенсорной и моторной информации, что является необходимым для социального взаимодействия, речевой коммуникации и, в целом, для интеграции с окружающей средой [18].

В отношении применения заданий на ритмический праксис в неврологической практике интересными представляются факты о положительной роли тренировок чувства ритма и/или движений под ритмические звуки и музыку при многих заболеваниях. Так, развитие процессов тайминга и сенсомоторной интеграции применяется при следующих нарушениях: СДВГ, аутизм, нарушения слуха, речи, паралич, задержка раз-

вития, дислексия, проблемы в обучении, нейродегенеративные заболевания (болезнь Альцгеймера, деменция, паркинсонизм), инсульт, черепно-мозговые травмы [1; 31]. Кроме того, учитывая, что сенситивный период в развитии данной способности приходится на дошкольный и младший школьный возраст [3; 20; 33], целесообразно развивать способности к слухомоторной синхронизации, чувство ритма и временных интервалов в различных формах активности дошкольников, связанных с движениями под музыку и ритм, что должно способствовать не только развитию их моторной и сенсорной сфер, но и формировать навыки саморегуляции [48].

Заключение

Тайминг в целом, и сенсомоторная синхронизация в частности являются фундаментальными свойствами нервной системы на протяжении всей жизни человека начиная с рождения. Это свойство прежде всего способствует освоению языка, улучшению двигательных навыков и развитию социальных отношений.

Одни исследователи предлагают использовать теорию внутренних часов (*internal clock model*) для объяснения механизмов восприятия времени и тайминга, другие считают, что для объяснения этих механизмов нет необходимости во внутренних часах [22; 23]. То есть, несмотря на то, что исследования тайминга и слухомоторной синхронизации имеют многолетнюю историю, на сегодняшний день нет единого представления о фундаментальных механизмах, лежащих в основе этих явлений.

Общепринятым считается разделение тайминга на сенсорный (восприятие временных интервалов) и моторный (воспроизведение предъявленных интервалов). В данном обзоре акцент был сделан на моторную составляющую, которая в большинстве работ изучается при помощи ударов (теппинга) пальцем или кистью

в соответствии с внешними стимулами (чаще всего зрительными или слуховыми). В последние годы такой подход получил дальнейшее развитие в связи с широким внедрением нейровизуализационных технологий и количественной оценки результативности выполнения различных заданий. В итоге были получены многочисленные данные об анатомических основах тайминга. Более или менее однозначно доказано участие в обеспечении процессов восприятия и воспроизведения временных интервалов таких структур, как базальные ганглии, мозжечок, моторные области коры больших полушарий. Менее очевидна вовлеченность стволовых структур (в частности, оливы), а также отделов мозга, связанных с эмоциями. В целом, большинство исследований влияния эмоциональной окраски внешних стимулов (как зрительных, так и слуховых) на восприятие временных интервалов свидетельствуют о том, что сила и знак эмоции меняет субъективное восприятие длительности их предъявления. В частности, негативные стимулы воспринимаются как более длительно действующие по сравнению с позитивными и нейтральными.

Дискуссионным остается вопрос о механизмах восприятия и воспроизведения интервалов с длительностью более и менее 1 секунды. Тем не менее, большинство авторов предполагают, что оценка коротких интервалов (с длительностью менее 1 секунды) больше связана с сенсорными процессами, а оценка медленных интервалов (более 1 секунды) предполагает вовлечение когнитивных процессов (в частности, рабочей памяти).

В заключение следует отметить, что ритм создает упорядоченность как моторным актам, так и когнитивным операциям; он обеспечивает четкость, экономное расходование ресурсов и поддержку при выполнении всевозможных движений. Это может и должно быть использовано в реабилитации и коррекции самых разных расстройств, при которых выявляются проблемы с чувством времени, нарушение тайминга и сенсомоторной синхронизации.

Литература

1. Ковалева А.В. Физиологические основы восприятия и воспроизведения ритма в неврологии [Электронный ресурс] // Русский медицинский журнал. Неврология. 2018. Т. 26. № 12-1. С. 61—66. URL: https://www.rmj.ru/articles/nevrologiya/Fiziologicheskie_osnovy_vospriyatiya_i_vosproizvedeniya_ritma_v_nevrologii/ (дата обращения: 08.06.2020).
2. Adults who stutter and metronome synchronization: evidence for a nonspeech timing deficit / A.G. Sares [et al.] // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2019. Vol. 1449. № 1. P. 56—69. DOI:10.1111/nyas.14117
3. Bobin-Bègue A., Droit-Volet S., Provasi J. Young children's difficulties in switching from rhythm production to temporal interval production (> 1 s) // *Frontiers in Psychology*. 2014. Vol. 5. Article ID 1346. 10 p. DOI:10.3389/fpsyg.2014.01346
4. Bradley M., Lang P. International affective digitized sounds (IADS): Stimuli, instruction manual and affective ratings: Technical Report no. b-2. Vol. 803. Gainesville, FL: Center for the Study of Emotion and Attention, University of Florida, 1999. 49 p.
5. Buhusi C.V., Meck W.H. Interval timing with gaps and distracters: evaluation of the ambiguity, switch, and time-sharing hypotheses // *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*. 2006. Vol. 32. № 3. P. 329—338. DOI:10.1037/0097-7403.32.3.329
6. Cerebellum and detection of sequences, from perception to cognition / M. Molinari [et al.] // *The Cerebellum*. 2008. Vol. 7. № 4. P. 611—615. DOI:10.1007/s12311-008-0060-x

7. Clinical Implications of the Perception of Time in Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): A Review / R. Ptacek [et al.] // *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2019. Vol. 25. P. 3918—3924. DOI:10.12659/MSM.914225
8. Clock speed as a window into dopaminergic control of emotion and time perception / R.K. Cheng [et al.] // *Timing & Time Perception*. 2016. Vol. 4. № 1. P. 99—122. DOI:10.1163/22134468-00002064
9. *Corriveau K.H., Goswami U.* Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: tapping to the beat // *Cortex*. 2009. Vol. 45. № 1. P. 119—130. DOI:10.1016/j.cortex.2007.09.008
10. *Cos I., Girard B., Guigon E.* Balancing out dwelling and moving: optimal sensorimotor synchronization // *Journal of Neurophysiology*. 2015. Vol. 114. № 1. P. 146—158. DOI:10.1152/jn.00175.2015
11. *Coull J.T., Cheng R.K., Meck W.H.* Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing // *Neuropsychopharmacology*. 2011. Vol. 36. № 1. P. 3—25. DOI:10.1038/npp.2010.113
12. Differential involvement of regions of rostral prefrontal cortex (Brodmann area 10) in time- and event-based prospective memory / J. Okuda [et al.] // *International Journal of Psychophysiology*. 2007. Vol. 64. № 3. P. 233—246. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2006.09.009
13. Differentiation of parameters for rhythmic ability among young tennis players, basketball players and swimmers / E. Zachopoulou [et al.] // *European Journal of Physical Education*. 2000. Vol. 5. № 2. P. 220—230. DOI:10.1080/1740898000050208
14. Disrupted sensorimotor synchronization, but intact rhythm discrimination, in children treated for a cerebellar medulloblastoma / J. Provasi [et al.] // *Research in Developmental Disabilities*. 2014. Vol. 35. № 9. P. 2053—2068. DOI:10.1016/j.ridd.2014.04.024
15. Dissociable systems of working memory for rhythm and melody / T.A. Jerde [et al.] // *Neuroimage*. 2011. Vol. 57. № 4. P. 1572—1579. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.05.061
16. Dissociation of the role of the prelimbic cortex in interval timing and resource allocation: beneficial effect of norepinephrine and dopamine reuptake inhibitor nomifensine on anxiety-inducing distraction / A.R. Matthews [et al.] // *Frontiers In Integrative Neuroscience*. 2012. Vol. 6. Article ID 111. 12 p. DOI:10.3389/fnint.2012.00111
17. Distinct and overlapping functional zones in the cerebellum defined by resting state functional connectivity / J.X. O'Reilly [et al.] // *Cerebral Cortex*. 2010. Vol. 20. № 4. P. 953—965. DOI:10.1093/cercor/bhp157
18. *Donnellan A.M., Hill D.A., Leary M.R.* Rethinking autism: implications of sensory and movement differences for understanding and support // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2013. Vol. 6. Article ID 124. 11 p. DOI:10.3389/fnint.2012.00124
19. *Droit-Volet S., Brunot S., Niedenthal P.* Brief report: Perception of the duration of emotional events // *Cognition and Emotion*. 2004. Vol. 18. № 6. P. 849—858. DOI:10.1080/02699930341000194
20. *Droit-Volet S., Meck W.H.* How emotions colour our perception of time // *Trends in Cognitive Sciences*. 2007. Vol. 11. № 12. P. 504—513. DOI:10.1016/j.tics.2007.09.008
21. Essential tremor, the olivocerebellar system and motor timing—An fMRI study / A. Buijink [et al.] // *Clinical Neurophysiology*. 2016. Vol. 127. № 3. 6 p. DOI:10.1016/j.clinph.2015.10.020
22. *Grahn J.A.* Neural mechanisms of rhythm perception: current findings and future perspectives // *Topics in Cognitive Science*. 2012. Vol. 4. № 4. P. 585—606. DOI:10.1111/j.1756-8765.2012.01213.x
23. *Grondin S.* Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions // *Attention, Perception, & Psychophysics*. 2010. Vol. 72. № 3. P. 561—582. DOI:10.3758/APP.72.3.561
24. *Holm L., Ullén F., Madison G.* Motor and executive control in repetitive timing of brief intervals // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2013. Vol. 39. № 2. P. 365—380. DOI:10.1037/a0029142
25. How Emotional Auditory Stimuli Modulate Time Perception / M. Noulhiane [et al.] // *Emotion*. 2007. Vol. 7. № 4. P. 697—704. DOI:10.1037/1528-3542.7.4.697
26. Individual differences in rhythm skills: links with neural consistency and linguistic ability / T.A. White-Schwoch [et al.] // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2017. Vol. 29. № 5. P. 855—868. DOI:10.1162/jocn_a_01092
27. *Karmarkar U.R., Buonomano D.V.* Timing in the absence of clocks: encoding time in neural network states // *Neuron*. 2007. Vol. 53. № 3. P. 427—438. DOI:10.1016/j.neuron.2007.01.006
28. *Kotz S.A., Ravignani A., Fitch W.T.* The evolution of rhythm processing // *Trends in Cognitive Sciences*. 2018. Vol. 22. № 10. P. 896—910. DOI:10.1016/j.tics.2018.08.002
29. *Lang P.J., Bradley M.M., Cuthbert B.N.* International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical report A-6. Gainesville, FL : NIMH, Center for the Study of Emotion & Attention, 2005.
30. *Martel A.C., Apicella P.* Temporal processing in the striatum: interplay between midbrain dopamine neurons and striatal cholinergic interneurons // *European Journal of Neuroscience*. 2020. 10 p. (In press). DOI:10.1111/ejn.14741
31. *McGrew K., Vega A.* The efficacy of rhythm-based (mental timing) treatments with subjects with a variety of clinical disorders: A brief review of theoretical, diagnostic, and treatment research // *Institute for Applied Psychometrics Research Report*. 2009. № 9. 32 p.
32. *Meck W.H., MacDonald C.J.* Amygdala inactivation reverses fear's ability to impair divided attention and make time stand still // *Behavioral Neuroscience*. 2007. Vol. 121. № 4. P. 707—720. DOI:10.1037/0735-7044.121.4.707

33. *Monier F., Droit-Volet S.* Development of sensorimotor synchronization abilities: Motor and cognitive components // *Child Neuropsychology*. 2019. Vol. 25. № 8. P. 1043—1062. DOI:10.1080/09297049.2019.1569607
34. *Paton J.J., Buonomano D.V.* The neural basis of timing: distributed mechanisms for diverse functions // *Neuron*. 2018. Vol. 98. № 4. P. 687—705. DOI:10.1016/j.neuron.2018.03.045
35. *Repp B.H., Su Y.H.* Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006—2012) // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2013. Vol. 20. № 3. P. 403—452. DOI:10.3758/s13423-012-0371-2
36. Roles of the cerebellum in motor preparation and prediction of timing / M. Tanaka [et al.] // *Neuroscience*. 2020. 30 p. (In press). DOI:10.1016/j.neuroscience.2020.04.039
37. *Stoodley C.J., Valera E.M., Schmahmann J.D.* Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks: an fMRI study // *Neuroimage*. 2012. Vol. 59. № 2. P. 1560—1570. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.08.065
38. *Sugiyama T., Liew S.L.* The Effects of Sensory Manipulations on Motor Behavior: From Basic Science to Clinical Rehabilitation // *Journal of Motor Behavior*. 2017. Vol. 49. № 1. P. 67—77. DOI:10.1080/00222895.2016.1241740
39. Temporal and motor representation of rhythm in fronto-parietal cortical areas: an fMRI study / N. Konoike [et al.] // *PloS One*. 2015. Vol. 10. № 6. 19 p. DOI:10.1371/journal.pone.0130120
40. *Thaut M.H., Abiru M.* Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research // *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*. 2010. Vol. 27. № 4. P. 263—269. DOI:10.1525/mp.2010.27.4.263
41. The influence of affective factors on time perception [Электронный ресурс] / A. Angrilli [et al.] // *Perception & Psychophysics*. 1997. Vol. 59. № 6. P. 972—982. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03205512.pdf> (дата обращения: 08.06.2020).
42. *Tierney A.T., Kraus N.* The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills // *Brain and language*. 2013. Vol. 124. № 3. P. 225—231. DOI:10.1016/j.bandl.2012.12.014
43. Time perception in children treated for a cerebellar medulloblastoma / S. Droit-Volet [et al.] // *Research in Developmental Disabilities*. 2013. Vol. 34. № 1. P.480—494. DOI:10.1016/j.ridd.2012.09.006
44. Timing skills and expertise: discrete and continuous timed movements among musicians and athletes / T.B. Janzen [et al.] // *Frontiers in Psychology*. 2014. Vol. 5. Article ID 1482. 11 p. DOI:10.3389/fpsyg.2014.01482
45. Understanding time perception through non-invasive brain stimulation techniques: A review of studies / G. Mioni [et al.] // *Behavioural Brain Research*. 2020. Vol. 377. Article ID 112232. 17 p. DOI:10.1016/j.bbr.2019.112232
46. van de Vorst R., Gracco V.L. Atypical non-verbal sensorimotor synchronization in adults who stutter may be modulated by auditory feedback // *Journal of fluency disorders*. 2017. Vol. 53. P. 14—25. DOI:10.1016/j.jfludis.2017.05.004
47. *Vicario C.M.* Cognitively controlled timing and executive functions develop in parallel? A glimpse on childhood research // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2013. Vol. 7. Article ID 146. 4 p. DOI:10.3389/fnbeh.2013.00146
48. *Williams K.E.* Moving to the beat: Using music, rhythm, and movement to enhance self-regulation in early childhood classrooms // *International Journal of Early Childhood*. 2018. Vol. 50. № 1. P. 85—100. DOI:10.1007/s13158-018-0215-y

References

1. Kovaleva A.V. Fiziologicheskie osnovy vospriyatiya i vosproizvedeniya ritma v nevrologii [Physiological basis of perception and reproduction of rhythm in neurology] [Elektronnyi resurs]. *Russkii meditsinskii zhurnal. Nevrologiya = Russian Medical Journal. Neurology*, 2018. Vol. 26, no. 12-1, P. 61—66. URL: https://www.rmj.ru/articles/nevrologiya/Fiziologicheskie_osnovy_vospriyatiya_i_vosproizvedeniya_ritma_v_nevrologii/ (Accessed 08.06.2020). (In Russ.).
2. Sares A.G. et al. Adults who stutter and metronome synchronization: evidence for a nonspeech timing deficit. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2019. Vol. 1449, no. 1, pp. 56—69. DOI:10.1111/nyas.14117
3. Bobin-Bègue A., Droit-Volet S., Provasi J. Young children's difficulties in switching from rhythm production to temporal interval production (> 1 s). *Frontiers in psychology*, 2014. Vol. 5, article ID 1346, 10 p. DOI:10.3389/fpsyg.2014.01346
4. Bradley M., Lang P. International affective digitized sounds (IADS): Stimuli, instruction manual and affective ratings: Technical Report no. b-2: Vol. 803. 1999. 49 p.
5. Buhusi C.V., Meck W.H. Interval timing with gaps and distracters: evaluation of the ambiguity, switch, and time-sharing hypotheses. *Journal of experimental psychology: Animal behavior processes*, 2006. Vol. 32, no. 3, pp. 329—338. DOI:10.1037/0097-7403.32.3.329
6. Molinari M. et al. Cerebellum and detection of sequences, from perception to cognition. *The Cerebellum*, 2008. Vol. 7, no. 4, pp. 611—615. DOI:10.1007/s12311-008-0060-x
7. Ptacek R. et al. Clinical Implications of the Perception of Time in Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): A Review. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*, 2019. Vol. 25, pp. 3918—3924. DOI:10.12659/MSM.914225
8. Cheng R.K. et al. Clock speed as a window into dopaminergic control of emotion and time perception. *Timing & Time Perception*, 2016. Vol. 4, no. 1, pp. 99—122. DOI:10.1163/22134468-00002064
9. Corriveau K.H., Goswami U. Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: tapping to the beat. *Cortex*, 2009. Vol. 45, no. 1, pp. 119—130. DOI:10.1016/j.cortex.2007.09.008

10. Cos I., Girard B., Guigon E. Balancing out dwelling and moving: optimal sensorimotor synchronization. *Journal of neurophysiology*, 2015. Vol. 114, no. 1, pp. 146—158. DOI:10.1152/jn.00175.2015
11. Coull J.T., Cheng R.K., Meck W.H. Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology*, 2011. Vol. 36, no. 1, pp. 3—25. DOI:10.1038/npp.2010.113
12. Okuda J. et al. Differential involvement of regions of rostral prefrontal cortex (Brodmann area 10) in time- and event-based prospective memory. *International Journal of Psychophysiology*, 2007. Vol. 64, no. 3, pp. 233—246. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2006.09.009
13. Zachopoulou E. et al. Differentiation of parameters for rhythmic ability among young tennis players, basketball players and swimmers. *European Journal of Physical Education*, 2000. Vol. 5, no. 2, pp. 220—230. DOI:10.1080/1740898000050208
14. Provasi J. et al. Disrupted sensorimotor synchronization, but intact rhythm discrimination, in children treated for a cerebellar medulloblastoma. *Research in developmental disabilities*, 2014. Vol. 35, no. 9, pp. 2053—2068. DOI:10.1016/j.ridd.2014.04.024
15. Jerde T.A. et al. Dissociable systems of working memory for rhythm and melody. *Neuroimage*, 2011. Vol. 57, no. 4, pp. 1572—1579. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.05.061
16. Matthews A.R. et al. Dissociation of the role of the prelimbic cortex in interval timing and resource allocation: beneficial effect of norepinephrine and dopamine reuptake inhibitor nomifensine on anxiety-inducing distraction. *Frontiers in integrative neuroscience*, 2012. Vol. 6, article ID 111, 12 p. DOI:10.3389/fnint.2012.00111
17. O'Reilly J.X. et al. Distinct and overlapping functional zones in the cerebellum defined by resting state functional connectivity. *Cerebral cortex*, 2010. Vol. 20, no. 4, pp. 953—965. DOI:10.1093/cercor/bhp157
18. Donnellan A.M., Hill D.A., Leary M.R. Rethinking autism: implications of sensory and movement differences for understanding and support. *Frontiers in integrative neuroscience*, 2013. Vol. 6, 11 p. DOI:10.3389/fnint.2012.00124
19. Droit-Volet S., Brunot S., Niedenthal P. Brief report: Perception of the duration of emotional events. *Cognition and Emotion*, 2004. Vol. 18, no. 6, pp. 849—858. DOI:10.1080/02699930341000194
20. Droit-Volet S., Meck W.H. How emotions colour our perception of time. *Trends in cognitive sciences*, 2007. Vol. 11, no. 12, pp. 504—513. DOI:10.1016/j.tics.2007.09.008
21. Buijink A. et al. Essential tremor, the olivocerebellar system and motor timing — An fMRI study. *Clinical Neurophysiology*, 2016. Vol. 127, no. 3, 6 p. DOI:10.1016/j.clinph.2015.10.020
22. Grahn J.A. Neural mechanisms of rhythm perception: current findings and future perspectives. *Topics in cognitive science*, 2012. Vol. 4, no. 4, pp. 585—606. DOI:10.1111/j.1756-8765.2012.01213.x
23. Grondin S. Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2010. Vol. 72, no. 3, pp. 561—582. DOI:10.3758/APP.72.3.561
24. Holm L., Ullén F., Madison G. Motor and executive control in repetitive timing of brief intervals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2013. Vol. 39, no. 2, pp. 365—380. DOI:10.1037/a0029142
25. Noulhiane M. et al. How Emotional Auditory Stimuli Modulate Time Perception. *Emotion*, 2007. Vol. 7, no. 4, pp. 697—704. DOI:10.1037/1528-3542.7.4.697
26. White-Schwoch T.A. et al. Individual differences in rhythm skills: links with neural consistency and linguistic ability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2017. Vol. 29, no. 5, pp. 855—868. DOI:10.1162/jocn_a_01092
27. Karmarkar U.R., Buonomano D.V. Timing in the absence of clocks: encoding time in neural network states. *Neuron*, 2007. Vol. 53, no. 3, pp. 427—438. DOI:10.1016/j.neuron.2007.01.006
28. Kotz S.A., Ravignani A., Fitch W.T. The evolution of rhythm processing. *Trends in cognitive sciences*, 2018. Vol. 22, no. 10, pp. 896—910. DOI:10.1016/j.tics.2018.08.002
29. Lang P.J., Bradley M.M., Cuthbert B.N. International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical report A-6. Gainesville, FL.: NIMH, Center for the Study of Emotion & Attention, 2005.
30. Martel A.C., Apicella P. Temporal processing in the striatum: interplay between midbrain dopamine neurons and striatal cholinergic interneurons. *European Journal of Neuroscience*, 2020. 10 p. (In press). DOI:10.1111/ejn.14741
31. McGrew K., Vega A. The efficacy of rhythm-based (mental timing) treatments with subjects with a variety of clinical disorders: A brief review of theoretical, diagnostic, and treatment research. Institute for Applied Psychometrics Research Report. 2009, no. 9, 32 p.
32. Meck W.H., MacDonald C.J. Amygdala inactivation reverses fear's ability to impair divided attention and make time stand still. *Behavioral neuroscience*, 2007. Vol. 121, no. 4, pp. 707—720. DOI:10.1037/0735-7044.121.4.707
33. Monier F., Droit-Volet S. Development of sensorimotor synchronization abilities: Motor and cognitive components. *Child Neuropsychology*, 2019. Vol. 25, no. 8, pp. 1043—1062. DOI:10.1080/09297049.2019.1569607
34. Paton J.J., Buonomano D.V. The neural basis of timing: distributed mechanisms for diverse functions. *Neuron*, 2018. Vol. 98, no. 4, pp. 687—705. DOI:10.1016/j.neuron.2018.03.045
35. Repp B.H., Su Y.H. Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006—2012). *Psychonomic bulletin & review*, 2013. Vol. 20, no. 3, pp. 403—452. DOI:10.3758/s13423-012-0371-2
36. Tanaka M. et al. Roles of the cerebellum in motor preparation and prediction of timing. *Neuroscience*, 2020. 30 p. (In press). DOI:10.1016/j.neuroscience.2020.04.039

37. Stoodley C.J., Valera E.M., Schmahmann J.D. Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks: an fMRI study. *Neuroimage*, 2012. Vol. 59, no. 2, pp. 1560—1570. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.08.065
38. Sugiyama T., Liew S.L. The Effects of Sensory Manipulations on Motor Behavior: From Basic Science to Clinical Rehabilitation. *Journal of motor behavior*, 2017. Vol. 49, no. 1, pp. 67—77. DOI:10.1080/00222895.2016.1241740
39. Konoike N. et al. Temporal and motor representation of rhythm in fronto-parietal cortical areas: an fMRI study. *PLoS one*, 2015. Vol. 10, no. 6, 19 p. DOI:10.1371/journal.pone.0130120
40. Thaut M.H., Abiru M. Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 2010. Vol. 27, no. 4, pp. 263—269. DOI:10.1525/mp.2010.27.4.263
41. Angrilli A. et al. The influence of affective factors on time perception [Электронный ресурс]. *Perception & psychophysics*, 1997. Vol. 59, no. 6, pp. 972—982. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03205512.pdf> (Accessed 08.06.2020).
42. Tierney A.T., Kraus N. The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills. *Brain and language*, 2013. Vol. 124, no. 3, pp. 225—231. DOI:10.1016/j.bandl.2012.12.014
43. Droit-Volet S. et al. Time perception in children treated for a cerebellar medulloblastoma. *Research in developmental disabilities*, 2013. Vol. 34, no. 1, pp.480—494. DOI:10.1016/j.ridd.2012.09.006
44. Janzen T.B. et al. Timing skills and expertise: discrete and continuous timed movements among musicians and athletes. *Frontiers in psychology*, 2014. Vol. 5, article ID 1482, 11 p. DOI:10.3389/fpsyg.2014.01482
45. Mioni G. et al. Understanding time perception through non-invasive brain stimulation techniques: A review of studies. *Behavioural brain research*, 2020. Vol. 377, article ID 112232. 17 p. DOI:10.1016/j.bbr.2019.112232
46. Van de Vorst R., Gracco V.L. Atypical non-verbal sensorimotor synchronization in adults who stutter may be modulated by auditory feedback. *Journal of fluency disorders*, 2017. Vol. 53, pp. 14—25. DOI:10.1016/j.jfludis.2017.05.004
47. Vicario C.M. Cognitively controlled timing and executive functions develop in parallel? A glimpse on childhood research. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 2013. Vol. 7, article ID 146, 4 p. DOI:10.3389/fnbeh.2013.00146
48. Williams K.E. Moving to the beat: Using music, rhythm, and movement to enhance self-regulation in early childhood classrooms. *International Journal of Early Childhood*, 2018. Vol. 50, no. 1, pp. 85—100. DOI:10.1007/s13158-018-0215-y

Информация об авторах

Ковалева Анастасия Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии функциональных состояний человека, Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина (ФГБНУ «НИИИФ» имени П.К. Анохина), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>, e-mail: a.kovaleva@nphys.ru

Information about the authors

Anastasia V. Kovaleva, PhD in Biology, Senior Researcher, P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>, e-mail: a.kovaleva@nphys.ru

Получена 01.04.2020

Received 01.04.2020

Принята в печать 08.05.2020

Accepted 08.05.2020