

Когнитивные теории восприятия времени*

А. К. Кулиева^{1а}, Т. А. Березнер¹, А. Н. Шишунова², Д. Малышева¹

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Российская Федерация, 101000, Москва, ул. Мясницкая, 20

² Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации,
Российская Федерация, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82

Для цитирования: Кулиева А. К., Березнер Т. А., Шишунова А. Н., Малышева Д. Когнитивные теории восприятия времени // Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология. 2025. Т. 15. Вып. 1. С. 51–65. <https://doi.org/10.21638/spbu16.2025.103>

Проблематика восприятия времени в психологии и в когнитивной науке занимает умы ученых еще с начала прошлого века. Поначалу восприятие времени рассматривалось прежде всего как процесс физиологический, обусловленный обменом веществ и работой так называемых биологических часов. В дальнейшем, однако, фокус рассмотрения смещался на когнитивные теории, первой из которых стала широко известная теория количества информации Р. Орнштейна. Однако если данная теория вместе с когнитивно-аттенционной концепцией знакома русскоязычному научному сообществу, то ряд других, более современных моделей незаслуженно остается без внимания. Соответственно, затрудняется всяческое развитие данной области знания и возможность проведения эмпирических исследований ввиду отсутствия темы восприятия времени в отечественном психологическом дискурсе. В данной научной статье мы впервые на русском языке делаем обзор всех ключевых когнитивных теорий и моделей восприятия времени. Нами выделяется две группы таких теорий: теории ретроспективной и проспективной оценки. Предлагаются к обсуждению в числе теорий ретроспективной оценки: теория количества информации, модель контекстуальных изменений, модель сегментации и совсем недавно представленная метакогнитивная модель, а среди теорий проспективной оценки — теория пейсмекера, теория скалярного ожидания, модели осцилляторов и множественных осцилляторов, а также модель ворот внимания. В заключение нашего обзора обсуждаются различия между теоретическими положениями, лежащими в основе данных моделей, границы и условия их применимости. Также обсуждаются пути, по которым может продвигаться дальнейшее развитие области изучения механизмов восприятия времени с целью построения интегрированной теории восприятия времени, объединяющей в себе нейрофизиологические механизмы, когнитивные процессы и поведенческие проявления. Отмечается также и высокая практическая значимость исследований восприятия времени. Данная статья адресована широкому кругу читателей, но будет интересна в первую очередь специалистам в области когнитивной науки.

Ключевые слова: восприятие времени, субъективное время, когнитивная психология, ретроспективная оценка времени, проспективная оценка времени, модель ворот внимания, модель контекстуальных изменений, теория скалярного ожидания.

* Исследование выполнено при поддержке программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2024 г.; <https://brp.hse.ru>.

^а Автор для корреспонденции.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2025

Введение

Понятие времени в течение многих веков представляет интерес для человечества и науки. Психологическая наука задает времени свои вопросы: как оно воспринимается, какую роль играет для отдельной личности и межличностного взаимодействия. Время рассматривается и в русле психологии личности (Болотова, 2007), и в социальной психологии (Нестик, 2014), и в кросс-культурной (Льюис, 1999). Особое место в психологической науке должны занимать теории, призванные раскрыть механизмы восприятия времени.

В рамках нашего обзора мы сосредоточимся на когнитивных теориях восприятия времени. Широко известная теория биологических часов Х. Хогланда (H. Hoagland) предполагает существование особого физиологического механизма, связанного с обменными процессами в организме (Hoagland, 1933; Hoagland, 1935). Любая попытка связать психологическую составляющую восприятия времени с физиологией сталкивается с проблемой отсутствия специального органа его восприятия. Однако исследования восприятия времени в русле идеи о существовании неких внутренних часов продолжились и после Хогланда. Так, было показано, что динамические изменения темпа влияют на восприятие времени (Matthews, 2011), что ритмичные стимулы воспринимаются иначе, чем неритмичные (Horr, Di Luca, 2015). После теории биологических часов также активно появлялись нейрофизиологические модели восприятия времени. Это, например, группа моделей частоты биений (beat frequency models) (Teki et al., 2012) или модель байесовского таймера (Freestone, Church, 2016).

Хотя недавние исследования убедительно демонстрируют роль решетчатых нейронов (grid cells) в восприятии временной информации и предлагают достаточно подробные теоретические модели, см. обзоры (Buzsáki, Llinas, 2017; Paton, Buonomano, 2018), механизмы оценки длительных временных интервалов остаются предметом множества споров. Вслед за многими авторами, например за Фрессом (Fraisse, 1957; Фресс, Пиаже, 1978), мы разделяем понятие восприятия времени в «данный момент» — оценку промежутков времени, которую можно сформировать «сейчас», без задействования долговременной памяти, и понятие оценки времени, когда мы уже рассматриваем те промежутки, которые сохранили в долговременной памяти. П. Вайт (P. White) предлагает понятие «расширенное настоящее» (the extended present), которое определяет тематически связанную единицу в рабочей памяти, служащей контекстом для восприятия текущих перцептивных данных и способом разделения восприятия времени и оценки временных интервалов (White, 2021).

Традиционно различают проспективные и ретроспективные оценки временных интервалов, также их называют переживаемой (experienced) и запомненной (remembered) длительностью (Block, Zakay, 1997; Block, Gruber, 2014). Проспективные оценки связаны с ситуациями, когда человек знает о важности течения времени. Экспериментально такие ситуации создаются за счет инструкции: испытуемые знают, что по истечении определенного временного интервала им нужно будет оценить его длительность. Ретроспективные оценки предполагают, что только постфактум человек узнает о том, что ему необходимо оценить длительность уже прошедшего интервала. В экспериментальной ситуации эти задачи чаще всего

ставятся перед испытуемым при работе с интервалами разной длительности. Проспективные оценки обычно используются для коротких интервалов (от десятков миллисекунд до десятков секунд), а ретроспективные — для более длительных (Grondin, 2019). Данный теоретический обзор освещает основные модели и концепции из обеих групп, а также предлагает возможные векторы развития исследований в области когнитивной психологии восприятия времени, учитывая развитие обоих течений.

Теории ретроспективной оценки

Теория количества информации. Одной из самых ранних и при этом известных когнитивных теорий восприятия времени является теория количества информации Р. Орнштейна (R. Ornstein), основанная на зависимости восприятия временного промежутка от объема переработанной информации и, как следствие, содержания рабочей памяти (Ornstein, 1969). То есть чем больше событий произошло в течение какого-то промежутка, чем лучше они сохранились в памяти, чем сложнее они были для обработки — тем более длительным кажется этот промежуток. Орнштейн предлагал испытуемым в течение около 9 минут воспринимать звуковые стимулы, которые в разных группах подавались с разной частотой (Ornstein, 1969). Он обнаружил, что, когда возрастала частота (а вместе с ней и число услышанных испытуемым сигналов), возрастала и оценка продолжительности промежутка времени. Проводились и другие исследования, подтверждающие предсказанный Орнштейном эффект в слуховой (Boltz, 1998) и зрительной (Roelofs, Zeeman, 1951–1952) модальностях. Об этих эффектах влияния числа событий на восприятие интервалов Л. Буффарди (L. Buffardi) стал говорить как об иллюзии наполненной продолжительности (the filled-duration illusion), подчеркивая неадекватность оценки длительности интервала в случае большого числа стимулов, воспринимаемых во время интервала (Buffardi, 1971).

Здесь, однако, теория Орнштейна сталкивается с первой серьезной проблемой, сформулированной в английской пословице «вода в котле, за которым наблюдают, никогда не закипает» — ‘the watched pot still won’t boil’ (Cahoon, Edmonds, 1980, Block et al., 1980; Шиффман, 2003). Переоценка длительности промежутка, когда не происходит ничего, кроме ожидания наступления какого-то события, напрямую противоречит теории Орнштейна. В действительности этот феномен хорошо объясняется в рамках когнитивно-аттенционной теории, рассматриваемой далее, а, оставаясь верными позиции Орнштейна, мы должны допустить, что этот «пустой» промежуток на самом деле наполнен событиями, прежде всего эмоциональными, связанными с ожиданием.

Модель контекстуальных изменений. Разными исследователями было обнаружено, что временные промежутки кажутся более длительными:

- когда представлено большее количество событий (Block, 1974);
- представлена более сложная последовательность событий (Block, 1978);
- в задании требуется больше избирательности внимания (Underwood, Swain, 1973);
- выполняется более скучное задание (Hawkins, Tedford, 1976).

Эти данные описываются моделью контекстуальных изменений (Block, Reed, 1978; Block, 1985), в основе которой лежит предположение о том, что увеличение воспринимаемой длительности промежутка происходит с увеличением запоминаемых изменений в когнитивном контексте (например, за счет чередования различных заданий и уровней сложности в рамках одного задания) в течение этого промежутка (Block, 1978).

Авторы модели провели ряд экспериментов на тему глубины обработки вербальной информации (Craik, Lockhart, 1972) и показали, что наиболее длинными кажутся интервалы, в которых происходит чередование «глубокой» и «поверхностной» обработки, а не один из этих типов обработки в чистом виде (Block, Reed, 1978). Подобные результаты не могут быть объяснены исключительно объемом перерабатываемой информации и включенностью внимания.

Модель контекстуальных изменений развивалась в дальнейшем (Block, 1989). На основе многочисленных эмпирических данных, а также контекстуальной модели памяти (Jenkins et al., 1979) и контекстуальной модели обучения, понимания и запоминания (Bransford, 1979) Блоком была выдвинута тетраэдрическая модель (представлена на рисунке), состоящая из четырех факторов (вершины тетраэдра), шести возможных попарных взаимодействий между ними (ребра тетраэдра) и четырех трехсторонних взаимодействий (грани тетраэдра). Блок утверждает, что тот самый контекст времени, которому посвящена модель, представляет собой сложную многогранную структуру из взаимодействия всех этих факторов (Block, 1989).

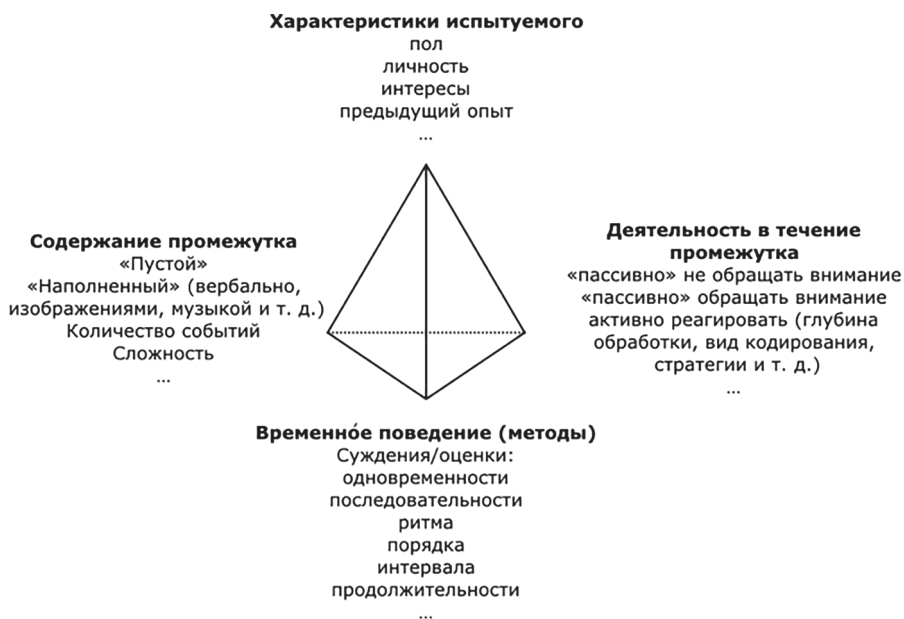


Рис. Тетраэдрическая контекстуальная модель временного переживания (по схеме из (Block, 1985))

Модель сегментации. Позже Пойнтер предложил модель сегментации, согласно которой воспринимаемая продолжительность интервала определяется происходящими изменениями и степенью сегментации воспринимаемых событий.

Пойнтер полагает, что восприятие времени, по сути, сводится к двум процессам: ощущению изменений, на которое влияет степень дискретности и важность информации, а затем оценки продолжительности временных промежутков как результата запоминания сегментов (Poynter, 1989). Скажем, если в течение пары часов мы просто читали книгу, то различные происходящие события имеют не очень высокую степень дискретности, они сливаются воедино. Кроме того, нельзя сказать, что чтение одной страницы обладает существенно большей значимостью, чем чтение другой.

Модель сегментации и модель контекстуальных изменений похожи в том смысле, что первая акцентируется на количестве выделенных сегментов, а вторая — на количестве смен контекста. Если рассматривать высокую дискретность сегментов как изменение контекста, различие между моделями пропадает вовсе. В то же время модель контекстуальных изменений не может описать разницу восприятия времени при малой дискретности сегментов, а также не использует в качестве источника информации долговременную память. Последняя особенность делает модель сегментации подходящей в том числе для объяснения оценки времени на длинных интервалах.

Метакогнитивная модель. Наконец, совсем недавно среди ретроспективных моделей появилась модель, которую можно назвать метакогнитивной (Kaju, Maglio, 2022). Вернее, авторы даже не предлагают полноценную модель, но впервые подчеркивают возможную роль метакогнитивных процессов в вынесении ретроспективных суждений о продолжительности временных промежутков.

Авторы модели предсказывают, что разница между ожидаемыми и фактическими воспоминаниями обратно пропорциональна субъективной продолжительности временного промежутка (Kaju, Maglio, 2022). Иными словами, если человек в течение какого-то промежутка ожидает успешно запомнить много событий, а в итоге ему удастся запомнить мало, то данный промежуток оценивается как короткий и, напротив, если разница между ожиданиями и реальным запоминанием не так велика, то промежуток оценивается как длительный. Авторы находят своей модели ряд эмпирических подтверждений, проведя серию из четырех экспериментов (Kaju, Maglio, 2022). Так, им удалось продемонстрировать, что день годичной давности кажется длиннее, чем вчерашний.

Отметим, что метакогнитивная модель является интересным этапом в развитии ретроспективных моделей, однако она касается в первую очередь оценки, а не восприятия длительности запомненных промежутков времени.

Теории проспективной оценки

На сегодняшний день существуют две основные группы теоретических моделей, описывающих проспективную оценку временных интервалов: модели пейсмейкера и модели осциллятора (Grondin, 2010). Эти теории традиционно предполагают наличие центрального механизма оценки времени, включающего внутренний генератор импульсов. Две теоретические линии развивались параллельно и нельзя сказать, что недостатки одних моделей напрямую кладутся в основу развития последующих, однако эти теоретические линии во многом перекликаются и нередко используют общую эмпирическую базу.

Теория пейсмейкера. Доминирующую теорию пейсмейкера, ставшую основой для многих последующих, предложил М. Трейсман (M. Treisman). Согласно этой теории, механизм восприятия времени состоит из шести основных компонентов:

- 1) пейсмейкер, который выдает серию импульсов с регулярной скоростью;
- 2) счетчик импульсов;
- 3) хранилище, в котором импульсы накапливаются и могут формировать эталонные временные интервалы для последующего сравнения;
- 4) механизм принятия решения, который сравнивает подсчитанные интервалы с эталонными интервалами;
- 5) центр возбуждения, который меняет частоту импульсов пейсмейкера;
- 6) вербальный механизм вынесения суждения, который отвечает за длительное хранение хронометрических единиц с присвоенными вербальными ярлыками: секунда, минута и т. д. (Treisman, 1963).

Длина субъективного интервала зависит от количества импульсов, прошедших через счетчик и накопившихся в хранилище. Количество импульсов, в свою очередь, зависит от объективного времени и от темпа генерации импульсов. На темп работы пейсмейкера влияет центр возбуждения через частоту стимуляции, см., например, (Goldstone, Goldfarb, 1964), через эмоциональные стимулы (Noulhiane et al., 2007; Zhou et al., 2021; Visalli et al., 2023; Zhang et al., 2024) или моторные задачи (Sayah et al., 2018; Sparé et al., 2022; D'Agostino et al., 2023).

Теория скалярного ожидания. Идеи Трейсмана нашли продолжение в теории скалярного ожидания (Scalar Expectancy Theory, SET, или Scalar Timing Theory), которая описывает устройство внутренних часов более лаконично: пейсмейкер, аккумулятор/накопитель и механизм принятия решения (Gibbon, 1977). Оценка временного интервала включает обращение к долговременной памяти, в которой в результате прошлого опыта накопились эталонные временные интервалы для различных стимулов и ситуаций. Дальнейшие работы авторов также упоминают переключатель, расположенный между пейсмейкером и аккумулятором и пропускающий сигналы только во время действия стимула (Gibbon, 1991).

SET вводит представление о скалярных свойствах механизма восприятия времени, которые описываются двумя положениями:

- средняя оценка времени для ряда интервалов равна объективному времени;
- изменчивость суждений о времени линейно возрастает со средней оценкой интервала (закон Вебера) (Grondin, 2010).

Сейчас существуют свидетельства в пользу того, что закон Вебера работает лишь на ограниченном диапазоне временных интервалов до 1,3 секунд (Merchant et al., 2008) и неприменим для длинных временных интервалов (Grondin, 2010). Это, в свою очередь, означает, что положения теории скалярного ожидания несостоятельны.

Динамическая теория внимания. В динамической теории внимания (dynamic attending theory, DAT) (Jones, 1976; Jones, Boltz, 1989) осцилляторы описываются как динамические, нелинейные системы, в которых ритм генерации импульсов изменяется в соответствии с требованиями среды. Авторы применяли модель к ситуациям, в которых в явном виде задавался тип временного разрешения, то есть временные интервалы были встроены в последовательность сигналов, например музыки, речи или локомоции. Такая временная закономерность позволяет предсказывать

события и устанавливать режим внимания, ориентированный на будущее (future-oriented attending mode). Субъективное время зависит от возможности синхронизации внутренней ритмичности внимания с ритмом стимулов со стороны окружающей среды. Оценка времени, согласно модели, основывается на отсутствии или наличии нарушенных ожиданий.

Динамическая теория внимания стремится к экологической валидности, объясняя восприятие времени, встроенное в ритмические последовательности обыденной жизни. Однако это был все еще достаточно узкий круг ситуаций, вследствие чего начали появляться альтернативные теории.

Модель Трейсмана (осциллятор и калибровочный блок). Еще одну модель, включающую темпоральный осциллятор, предложили Трейсман и коллеги (Treisman et al., 1990). Модель предполагает два компонента, соединенных последовательно: временной осциллятор и калибровочный блок. Осциллятор испускает регулярные импульсы с возможностью без сбоев и прерываний менять скорость своей работы. Калибровочный блок принимает эти импульсы и преобразовывает их в функцию путем умножения изначальной частоты на калибровочный коэффициент. Калибровщик может варьировать собственное специфическое возбуждение, таким образом влияя на добавочный коэффициент. Полученная на выходе функция направляется в механизм обработки информации. Чем выше значение итоговой функции, тем больше расширение субъективного времени.

Хотя модель осциллятора Трейсмана не получила дальнейшего эмпирического и теоретического развития, его исследования внесли большой вклад в понимание того, как внешние стимулы взаимодействуют с внутренним генератором ритма, и были учтены в более поздней модели ворота внимания.

Модель множественных осцилляторов. Модель множественных осцилляторов была предложена авторами с целью выдвинуть коннекционистский вариант объяснения тех же результатов, которые объясняет SET (Church, Broadbent, 1990). Согласно этой теории, механизм восприятия времени состоит из множества осцилляторов, рабочей памяти, референтной памяти и механизма сравнения. Осцилляторы выдают ритмы различной периодичности и охватывают разные временные промежутки (до 204,6 секунд). Вместо счетчика/аккумулятора, записывающего количество полученных импульсов, каждому осциллятору соответствует свой индикатор статуса, отражающий фазу, в которой находится осциллятор. При восприятии временных интервалов статус каждого осциллятора сохраняется в рабочей памяти. При принятии решения о длительности временного интервала информация из рабочей памяти сравнивается с информацией из референтной памяти, где хранится статус осцилляторов в воспринятом когда-либо ранее эталонном интервале.

Система из нескольких осцилляторов, по замыслу авторов, позволяет обеспечить единый механизм для объяснения выполнения нескольких временных задач одновременно. Также она подходит для объяснения восприятия сильно отличающихся друг от друга по длительности временных интервалов. Однако модель множественных осцилляторов не могла объяснить иллюзии в оценке времени и поэтому впоследствии не получила развития.

Основная эмпирическая критика описанных теорий заключается в том, что один и тот же набор стимулов в одном и том же состоянии испытуемого может вызывать различные ответы о длительности интервала. Д. Закай (D. Zakay) и Р. Блок

(R. Block) предложили развить идею о переключателе в модели пейсмейкера, используя в качестве опосредующего звена механизмы внимания (Zakay, Block, 1995).

Модель ворот внимания. Модель ворот внимания (Zakay, Block, 1995), также называемая когнитивно-аттенционной теорией, постулирует существование подвижных ворот между пейсмейкером и аккумулятором. Движение ворот контролируется направлением внимания на ход течения времени или отвлечением от него. Когда субъект направляет внимание на суждение о времени, ворота открываются шире и большее количество импульсов попадает в счетчик. Когда субъект получает сигнал о завершении интервала, переключатель закрывается, не позволяя лишним импульсам перейти в аккумулятор.

Модель ворот внимания объясняет феномен воды, не закипающей под пристальным взглядом, как и все ситуации, когда время в ожидании кажется вечностью. В случае, когда мы активно заняты решением задачи, внимание не направляется на течение времени, и время будто пролетает — ворота почти все время закрыты и мало импульсов попадает в аккумулятор.

Хотя модель ворот внимания хорошо описывает получаемые эмпирические данные, именно в этом мы видим ее ключевую проблему. Во-первых, модель не поддается попыткам фальсификации, поскольку своим устройством может объяснить любые полученные в ходе экспериментальных условий результаты. Например, при введении фактора выполнения моторной задачи переоценку временных интервалов можно объяснить увеличением уровня активации, а противоположные результаты о сужении субъективного времени — закрытием ворот внимания. Во-вторых, неясны границы применимости этой модели. Без отсылки к процессам долговременной памяти модель ворот внимания годится для описания только коротких временных интервалов, в ходе которых возможно накопление импульсов и их последующий подсчет.

В настоящее время модели восприятия времени с пейсмейкером активно развиваются, в том числе с использованием искусственных систем (Basgol et al., 2021). Например, в работе Э. Техрани-Салех (A. Tehrani-Saleh) и коллег по результатам моделирования восприятия времени на искусственных нейронных сетях авторы предлагают собственную модель, уточняющую роль скачков внимания (Tehrani-Saleh et al., 2024). Также широкое поле исследований сейчас открывается на стыке психологии и нейрофизиологии (Mioni et al., 2020; Johari et al., 2023; Ma et al., 2021, Zhao, Zeng, 2022).

Заключение

В рамках данного обзора было показано, что развитие идей о восприятии времени в когнитивной психологии идет по двум основным направлениям, связанным с проспективными и ретроспективными оценками. Содержание этих моделей и их эмпирические проверки свидетельствуют о том, что речь идет о принципиально разных механизмах. Модели проспективной оценки длительности временных интервалов постепенно пришли к решающей роли внимания и на данный момент остановились на модели ворот внимания. Модели ретроспективной оценки описывают решающую роль памяти, и ключевой теорией до настоящего момента является модель контекстуальных изменений.

Дальнейшее развитие исследований восприятия времени в области когнитивных наук, на наш взгляд, должно идти в сторону интеграции различных моделей. Единая теория восприятия времени должна связать нейрофизиологическую основу с рядом когнитивных механизмов, включающих внимание, рабочую и долговременную память, а также включать в себя метакогнитивный мониторинг при вынесении суждений. Помимо внушительной теоретической работы, конечно, необходимо решение множества эмпирических вопросов, проверяющих и уточняющих работу предложенных на данный момент теоретических идей. Так, одним из наиболее важных направлений экспериментальных исследований может быть поиск ответа на вопрос о границах различения проспективных и ретроспективных процессов, а также определения понятий коротких и долгих временных интервалов. В частности, до каких пор аккумулятор может собирать сигналы из пейсмейкера, а когда оценка строится уже исключительно на информации из памяти? Не менее важным направлением эмпирических исследований можно считать разработку вопроса о влиянии памяти и метакогнитивных процессов при проспективной оценке. Для значительного числа ученых-когнитивистов есть ряд вызовов, с которыми им только предстоит справиться.

Литература

- Болотова А. К. Человек и время в познании, деятельности, общении. М.: Изд. дом ВШЭ, 2007.
- Льюис Р. Д. Деловые культуры в международном бизнесе. От столкновения к взаимопониманию. М.: Дело, 1999.
- Нестик Т. А. Социальная психология времени. М.: Ин-т психологии РАН, 2014.
- Фресс П., Пиаже Ж. Восприятие и оценка времени. Экспериментальная психология. М.: Прогресс, 1978.
- Шиффман Х. Ощущение и восприятие. СПб.: Питер, 2003.
- Basgol H., Ayhan I., Ugur E. Time perception: A review on psychological, computational, and robotic models // IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems. 2021. Vol. 14 (2). P. 301–315.
- Block R. A. Memory and the experience of duration in retrospect // Memory & Cognition. 1974. Vol. 2 (1). P. 153–160. <https://doi.org/10.3758/BF03197508>
- Block R. A. Remembered duration: Effects of event and sequence complexity // Memory & Cognition. 1978. Vol. 6. P. 320–326. <https://doi.org/10.3758/BF03197462>
- Block R. A. Contextual coding in memory: Studies of remembered duration // Time, mind, and behavior. Berlin; Heidelberg: Springer, 1985. P. 169–178. https://doi.org/10.1007/978-3-642-70491-8_11
- Block R. A. Experiencing and remembering time: Affordances, context, and cognition // Advances in Psychology. 1989. Vol. 59. P. 333–363. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61046-8](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61046-8)
- Block R. A., Gruber R. P. Time perception, attention, and memory: a selective review // Acta Psychologica. 2014. Vol. 149. P. 129–133. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.11.003>
- Block R. A., Reed M. A. Remembered duration: Evidence for a contextual-change hypothesis // Journal of Experimental psychology: Human Learning and memory. 1978. Vol. 4 (6). P. 656. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.4.6.656>
- Block R. A., Zakay D. Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review // Psychonomic Bulletin & Review. 1997. Vol. 4 (2). P. 184–197. <https://doi.org/10.3758/BF03209393>
- Block R. A., George E. J., Reed M. A. A watched pot sometimes boils: A study of duration experience // Acta Psychologica. 1980. Vol. 46 (2). P. 81–94. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(80\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0001-6918(80)90001-3)
- Boltz M. G. Tempo discrimination of musical patterns: Effects due to pitch and rhythmic structure // Perception & Psychophysics. 1998. Vol. 60. P. 1357–1373. <https://doi.org/10.3758/BF03207998>
- Bransford J. Human cognition: Learning, understanding, and remembering. Belmont: Wadsworth Pub C°, 1979.

- Buffardi L. Factors affecting the filled-duration illusion in the auditory, tactual, and visual modalities // Perception & Psychophysics. 1971. Vol. 10 (4). P. 292–294. <https://doi.org/10.3758/BF03212828>
- Buzsáki G., Llinás R. Space and time in the brain // Science. 2017. Vol. 358 (6362). P. 482–485. <https://doi.org/10.1126/science.aan8869>
- Cahoon D., Edmonds E.M. The watched pot still won't boil: Expectancy as a variable in estimating the passage of time // Bulletin of the Psychonomic Society. 1980. Vol. 16 (2). P. 115–116. <https://doi.org/10.3758/BF03334455>
- Church R.M., Broadbent H.A. Alternative representations of time, number, and rate // Cognition. 1990. Vol. 37 (1–2). P. 55–81. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(90\)90018-F](https://doi.org/10.1016/0010-0277(90)90018-F)
- Craik F.I., Lockhart R.S. Levels of processing: A framework for memory research // Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior. 1972. Vol. 11 (6). P. 671–684. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(72\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(72)80001-X)
- D'Agostino O., Castellotti S., Del Viva M.M. Time estimation during motor activity // Frontiers in human neuroscience. 2023. Vol. 17. Art. No. 1134027.
- Fraisse P. Psychologie du temps. Paris: Presses universitaires de France, 1957.
- Freestone D.M., Church R.M. Optimal timing // Current Opinion in Behavioral Sciences. 2016. Vol. 8. P. 276–281. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.02.031>
- Gibbon J. Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing // Psychological review. 1977. Vol. 84 (3). P. 279. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.3.279>
- Gibbon J. Origins of scalar timing // Learning and Motivation. 1991. Vol. 22, iss. 1–2. P. 3–38. [https://doi.org/10.1016/0023-9690\(91\)90015-Z](https://doi.org/10.1016/0023-9690(91)90015-Z)
- Goldstone S., Goldfarb J.L. Direct comparisons of auditory and visual durations // Journal of Experimental Psychology. 1964. Vol. 67 (5). P. 483. <https://doi.org/10.1037/h0046997>
- 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. <https://doi.org/10.3758/APP.72.3.561>
- Grondin S. The perception of time: Your questions answered. London: Routledge, 2019. <https://doi.org/10.4324/9781003001638>
- Hawkins M.F., Tedford Jr. W.H. Effects of interest and relatedness on estimated duration of verbal material // Bulletin of the Psychonomic Society. 1976. No. 8 (4). P. 301–302. <https://doi.org/10.3758/BF03335146>
- Hoagland H. The physiological control of judgments of duration: Evidence for a chemical clock // The Journal of General Psychology. 1933. No. 9 (2). P. 267–287. <https://doi.org/10.1080/00221309.1933.9920937>
- Hoagland H. Pacemakers in relation to aspects of behavior. New York: Macmillan, 1935.
- Horr N.K., Di Luca M. Filling the blanks in temporal intervals: The type of filling influences perceived duration and discrimination performance // Frontiers in Psychology. 2015. Vol. 6. P. 114. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00114>
- Jenkins J.J., Cermak L.S., Craik F.I.M. Four points to remember: A tetrahedral model of memory experiments // Levels of processing in human memory. London: Psychology Press, 1979. P. 429–446.
- Johari K., Lai V.T., Riccardi N., Desai R.H. Temporal features of concepts are grounded in time perception neural networks: An EEG study // Brain and Language. 2023. Vol. 237. Art. No. 105220.
- Jones M.R. Time, our lost dimension: Toward a new theory of perception, attention, and memory // Psychological Review. 1976. Vol. 83 (5). P. 323. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.83.5.323>
- Jones M.R., Boltz M. Dynamic attending and responses to time // Psychological Review. 1989. Vol. 96 (3). P. 459. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.96.3.459>
- Kaju A., Maglio S.J. Yesterday's great expectations: Metamemory and retrospective subjective duration // Journal of Experimental Social Psychology. 2022. Vol. 98. Art. No. 104242. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2021.104242>
- Ma J., Lu J., Li X. The influence of emotional awareness on time perception: Evidence from event-related potentials // Frontiers in Psychology. 2021. Vol. 12. Art. No. 704510.
- Matthews W.J. Stimulus repetition and the perception of time: The effects of prior exposure on temporal discrimination, judgment, and production // PLoS one. 2011. No. 6 (5). Art. No. e19815. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019815>

- Merchant H., Zarco W., Prado L. Do we have a common mechanism for measuring time in the hundreds of millisecond range? Evidence from multiple-interval timing tasks // *Journal of neurophysiology*. 2008. Vol. 99 (2). P. 939–949.
- Mioni G., Shelp A., Stanfield-Wiswell C. T., Gladhill K. A., Bader F., Wiener M. Modulation of individual alpha frequency with tacs shifts time perception // *Cerebral Cortex Communications*. 2020. No. 1 (1). Art. No. tgaa064.
- Noulhiane M., Mella N., Samson S., Ragot R., Pouthas V. How emotional auditory stimuli modulate time perception // *Emotion*. 2007. Vol. 7 (4). P. 697. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.4.697>
- Ornstein R. E. On the Experience of Time. London: Penguin, 1969.
- Paton J. J., Buonomano D. V. The neural basis of timing: distributed mechanisms for diverse functions // *Neuron*. 2018. Vol. 98 (4). P. 687–705. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.03.045>
- Poynter D. Judging the duration of time intervals: A process of remembering segments of experience // *Advances in Psychology*. 1989. Vol. 59. P. 305–331. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61045-6](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61045-6)
- Roelofs C. O., Zeeman W. P. C. Influence sequences of optical stimuli on the estimation of duration of a given interval of time // *Acta Psychologica*. 1951–1952. Vol. 8. P. 89–128. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(51\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0001-6918(51)90007-8)
- Sayali C., Uslu E., Menceloğlu M., Canbeyli R., Balcı F. Effect of acute physical activity on interval timing // *Timing & Time Perception*. 2018. No. 6 (1). P. 14–31. <https://doi.org/10.1163/22134468-00002098>
- Spapé M. M., Harjunen V. J., Ravaja N. Time to imagine moving: Simulated motor activity affects time perception // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2022. Vol. 29 (3). P. 819–827.
- Tehrani-Saleh A., McAuley J. D., Adami C. Mechanism of duration perception in artificial brains suggests new model of attentional entrainment // *Neural Computation*. 2024. Vol. 36 (10). P. 2170–2200.
- Teki S., Grube M., Griffiths T. D. A unified model of time perception accounts for duration-based and beat-based timing mechanisms // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2012. Vol. 5. P. 90. <https://doi.org/10.3389/fnint.2011.00090>
- Treisman M. Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the “internal clock” // *Psychological Monographs: General and Applied*. 1963. Vol. 77 (13). P. 1. <https://doi.org/10.1037/h0093864>
- Treisman M., Faulkner A., Naish P. L., Brogan D. The internal clock: Evidence for a temporal oscillator underlying time perception with some estimates of its characteristic frequency // *Perception*. 1990. Vol. 19 (6). P. 705–742. <https://doi.org/10.1068/p190705>
- Underwood G., Swain R. A. Selectivity of attention and the perception of duration // *Perception*. 1973. No. 2 (1). P. 101–105. <https://doi.org/10.1068/p020101>
- Visalli A., Begliomini C., Mioni G. The effect of emotion intensity on time perception: A study with transcranial random noise stimulation // *Experimental Brain Research*. 2023. No. 241 (8). P. 2179–2190.
- White P. A. The extended present: An informational context for perception // *Acta Psychologica*. 2021. Vol. 220. Art. No. 103403. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103403>
- Zakay D., Block R. A. An attentional-gate model of prospective time estimation // *Time and the dynamic control of behavior*. 1995. No. 5. P. 167–178.
- Zhang L., Li D., Liu P., Liu X., Yin H. The effect of the intensity of withdrawal-motivation emotion on time perception: Evidence based on the five temporal tasks // *Motivation Science*. 2024. No. 10 (2). P. 138–148.
- Zhao C., Zeng Q. The effect of electrical-stimulation-induced emotion on time perception: A time-reproduction task // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19 (24). Art. No. 16984.
- Zhou S., Li L., Wang F., Tian Yu. How facial attractiveness affects time perception: Increased arousal results in temporal dilation of attractive faces // *Frontiers in Psychology*. 2021. No. 12. Art. No. 784099.

Статья поступила в редакцию 25 сентября 2024 г.;
рекомендована к печати 18 ноября 2024 г.

Контактная информация:

Кулиева Алмара Кудрат кызы — канд. психол. наук, мл. науч. сотр.;
<https://orcid.org/0000-0003-4622-0896>, akkulieva@hse.ru

Березнер Тимофей Александрович — аспирант, мл. науч. сотр.;
<https://orcid.org/0000-0003-0704-6792>, tberezner@hse.ru
Шишунова Анастасия Николаевна — науч. сотр.; <https://orcid.org/0009-0000-3015-9109>,
shishunova-an@ranepa.ru
Малышева Дарья — науч. сотр.; <https://orcid.org/0000-0003-2981-8642>, d.malysheva@hse.ru

Cognitive theories of time perception*

A. K. Kulieva^{1a}, T. A. Berezner¹, A. N. Shishunova², D. Malysheva¹

¹ HSE University,

20, ul. Myasnitskaya, Moscow, 101000, Russian Federation

² Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,

82, pr. Vernadskogo, Moscow, 119606, Russian Federation

For citation: Kulieva A. K., Berezner T. A., Shishunova A. N., Malysheva D. Cognitive theories of time perception. *Vestnik of Saint Petersburg University. Psychology*, 2025, vol. 15, issue 1, pp. 51–65.

<https://doi.org/10.21638/spbu16.2025.103> (In Russian)

The problem of time perception in psychology and cognitive science has occupied the minds of scientists since the beginning of the last century. At first, the perception of time was considered primarily as a physiological process caused by metabolism and the work of the so-called “biological clock”. In the future, however, the focus of consideration shifted to cognitive theories, the first of which was the well-known theory of the amount of information by R. Ornstein. However, if this theory, along with cognitive attentional theory, is familiar to the Russian-speaking scientific community, then a number of other, more modern models are undeservedly ignored. Accordingly, any development of this field of knowledge and the possibility of conducting empirical research is hindered due to the lack of a topic of time perception in domestic psychological discourse. In this scientific article, for the first time in Russian, we review all the key cognitive theories and models of time perception. We distinguish two groups of such theories: the theory of retrospective and prospective assessment. Among the theories of retrospective assessment, the following are presented for discussion: the theory of the amount of information, the model of contextual changes, the segmentation model and the most recently introduced metacognitive model, and among the theories of prospective assessment are pacemaker theory, scalar expectation theory, oscillator and multiple oscillator models, as well as the attention gate model. In conclusion, our review discusses the differences between the theoretical positions underlying these models, the boundaries and conditions of their applicability. The ways in which further development of the field of studying the mechanisms of time perception can be advanced to build an integrated theory of time perception that combines neurophysiological mechanisms, cognitive processes and behavioral manifestations are also discussed. The high practical importance of time perception research is also noted. This article is addressed to a wide range of readers, but it will be of interest, first of all, to specialists in the field of cognitive science.

Keywords: time perception, subjective time, cognitive psychology, retrospective time estimation, prospective time estimation, attentional gate model, contextual change model, scalar expectancy theory.

* The research was carried out with the support of the HSE University Basic Research Program in 2024; <https://brp.hse.ru>.

^a Author for correspondence.

References

- Basgol, H., Ayhan, I., Ugur, E. (2021). Time perception: A review on psychological, computational, and robotic models. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 14 (2), 301–315.
- Block, R. A. (1974). Memory and the experience of duration in retrospect. *Memory & Cognition*, 2 (1), 153–160. <https://doi.org/10.3758/BF03197508>
- Block, R. A. (1978). Remembered duration: Effects of event and sequence complexity. *Memory & Cognition*, 6, 320–326. <https://doi.org/10.3758/BF03197462>
- Block, R. A. (1985). Contextual coding in memory: Studies of remembered duration. In: *Time, Mind, and Behavior* (pp. 169–178). Berlin, Heidelberg, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-70491-8_11
- Block, R. A. (1989). Experiencing and remembering time: Affordances, context, and cognition. In: *Advances in psychology*, 59, 333–363. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61046-8](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61046-8)
- Block, R. A., Gruber, R. P. (2014). Time perception, attention, and memory: a selective review. *Acta Psychologica*, 149, 129–133. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.11.003>
- Block, R. A., Reed, M. A. (1978). Remembered duration: Evidence for a contextual-change hypothesis. *Journal of Experimental psychology: Human Learning and memory*, 4 (6), 656. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.4.6.656>
- Block, R. A., Zakay, D. (1997). Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4 (2), 184–197. <https://doi.org/10.3758/BF03209393>
- Block, R. A., George, E. J., Reed, M. A. (1980). A watched pot sometimes boils: A study of duration experience. *Acta Psychologica*, 46 (2), 81–94. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(80\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0001-6918(80)90001-3)
- Bolotova, A. K. (2007). *Man and time in cognition, activity, communication*. Moscow, HSE Publishing House. (In Russian)
- Boltz, M. G. (1998). Tempo discrimination of musical patterns: Effects due to pitch and rhythmic structure. *Perception & Psychophysics*, 60, 1357–1373. <https://doi.org/10.3758/BF03207998>
- Bransford, J. (1979). *Human cognition: Learning, understanding, and remembering*. Belmont, Wadsworth Pub C°.
- Buffardi, L. (1971). Factors affecting the filled-duration illusion in the auditory, tactual, and visual modalities. *Perception & Psychophysics*, 10 (4), 292–294. <https://doi.org/10.3758/BF03212828>
- Buzsáki, G., Llinás, R. (2017). Space and time in the brain. *Science*, 358 (6362), 482–485. <https://doi.org/10.1126/science.aan8869>
- Cahoon, D., Edmonds, E. M. (1980). The watched pot still won't boil: Expectancy as a variable in estimating the passage of time. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 16 (2), 115–116. <https://doi.org/10.3758/BF03334455>
- Church, R. M., Broadbent, H. A. (1990). Alternative representations of time, number, and rate. *Cognition*, 37 (1–2), 55–81. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(90\)90018-F](https://doi.org/10.1016/0010-0277(90)90018-F)
- Craik, F. I., Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11 (6), 671–684. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(72\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(72)80001-X)
- D'Agostino, O., Castellotti, S., Del Viva, M. M. (2023). Time estimation during motor activity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1134027.
- Fraisse, P. (1957). *Psychologie du temps*. Paris, Presses universitaires de France.
- Fress, P., Piaget, J. (1978). Perception and evaluation of time. *Experimental Psychology*, 4 (C), 83.
- Freestone D. M., Church, R. M. (2016). Optimal timing. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 276–281. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.02.031>
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 84 (3), 279. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.3.279>
- Gibbon, J. (1991). Origins of scalar timing. *Learning and Motivation*, 22, 1–2, 3–38. [https://doi.org/10.1016/0023-9690\(91\)90015-Z](https://doi.org/10.1016/0023-9690(91)90015-Z)
- Goldstone, S., Goldfarb, J. L. (1964). Direct comparisons of auditory and visual durations. *Journal of Experimental Psychology*, 67 (5), 483. <https://doi.org/10.1037/h0046997>
- Grondin, S. (2010). Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72 (3), 561–582. <https://doi.org/10.3758/APP.72.3.561>
- Grondin, S. (2019). *The perception of time: Your questions answered*. London, Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003001638>

- Hawkins, M. F., Tedford, Jr W. H. (1976). Effects of interest and relatedness on estimated duration of verbal material. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 8 (4), 301–302. <https://doi.org/10.3758/BF03335146>
- Hoagland, H. (1933). The physiological control of judgments of duration: Evidence for a chemical clock. *The Journal of General Psychology*, 9 (2), 267–287. <https://doi.org/10.1080/00221309.1933.9920937>
- Hoagland, H. (1935). *Pacemakers in relation to aspects of behavior*. New York, Macmillan.
- Horr, N. K., Di Luca, M. (2015). Filling the blanks in temporal intervals: The type of filling influences perceived duration and discrimination performance. *Frontiers in Psychology*, 6, 114. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00114>
- Jenkins, J. J., Cermak, L. S., Craik, F. I. M. (1979). Four points to remember: A tetrahedral model of memory experiments. In: *Levels of Processing in Human Memory* (pp. 429–446). London, Psychology Press.
- Johari, K., Lai, V. T., Riccardi, N., Desai, R. H. (2023). Temporal features of concepts are grounded in time perception neural networks: An EEG study. *Brain and Language*, 237, 105220.
- Jones, M. R. (1976). Time, our lost dimension: Toward a new theory of perception, attention, and memory. *Psychological Review*, 83 (5), 323. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.83.5.323>
- Jones, M. R., Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, 96 (3), 459. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.96.3.459>
- Kaju, A., Maglio, S. J. (2022). Yesterday's great expectations: Metamemory and retrospective subjective duration. *Journal of Experimental Social Psychology*, 98, 104242. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2021.104242>
- Lewis, R. D. (1999). *Business cultures in international business. From collision to mutual understanding*. Moscow, Delo Publ. (In Russian)
- Ma, J., Lu, J., Li, X. (2021). The influence of emotional awareness on time perception: Evidence from event-related potentials. *Frontiers in Psychology*, 12, 704510.
- Matthews, W. J. (2011). Stimulus repetition and the perception of time: The effects of prior exposure on temporal discrimination, judgment, and production. *PLoS one*, 6 (5), e19815. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019815>
- Merchant, H., Zarco, W., Prado, L. (2008). Do we have a common mechanism for measuring time in the hundreds of millisecond range? Evidence from multiple-interval timing tasks. *Journal of Neurophysiology*, 99 (2), 939–949.
- Mioni, G., Shelp, A., Stanfield-Wiswell, C. T., Gladhill, K. A., Bader, F., Wiener, M. (2020). Modulation of individual alpha frequency with tacs shifts time perception. *Cerebral Cortex Communications*, 1 (1), tgaa064.
- Nestik, T. A. (2014). *Social psychology of time*. Moscow, Institut Psikologii RAN Press. (In Russian)
- Noulhiane, M., Mella, N., Samson, S., Ragot, R., Pouthas, V. (2007). How emotional auditory stimuli modulate time perception. *Emotion*, 7 (4), 697. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.4.697>
- Ornstein, R. E. (1969). *On the experience of time*. London, Penguin.
- Paton, J. J., Buonomano, D. V. (2018). The neural basis of timing: Distributed mechanisms for diverse functions. *Neuron*, 98 (4), 687–705. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.03.045>
- Poynter, D. (1989). Judging the duration of time intervals: A process of remembering segments of experience. *Advances in Psychology*, 59, 305–331. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61045-6](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61045-6)
- Roelofs, C. O., Zeeman, W. P. C. (1951–1952). Influence sequences of optical stimuli on the estimation of duration of a given interval of time. *Acta Psychologica*, 8, 89–128. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(51\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0001-6918(51)90007-8)
- Sayali, C., Uslu, E., Menceloğlu, M., Canbeyli, R., Balci, F. (2018). Effect of acute physical activity on interval timing. *Timing & Time Perception*, 6 (1), 14–31. <https://doi.org/10.1163/22134468-00002098>
- Schiffman, H. (2003). *Sensation and perception*. St. Petersburg, Piter Publ. (In Russian)
- Spapé, M. M., Harjunen V. J., Ravaja, N. (2022). Time to imagine moving: Simulated motor activity affects time perception. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29 (3), 819–827.
- Tehrani-Saleh, A., McAuley, J. D., Adami, C. (2024). Mechanism of duration perception in artificial brains suggests new model of attentional entrainment. *Neural Computation*, 36 (10), 2170–2200.
- Teki, S., Grube, M., Griffiths T. D. (2012). A unified model of time perception accounts for duration-based and beat-based timing mechanisms. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5, 90. <https://doi.org/10.3389/fnint.2011.00090>
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the “internal clock”. *Psychological Monographs: General and Applied*, 77 (13), 1. <https://doi.org/10.1037/h0093864>

- Treisman, M., Faulkner, A., Naish, P.L., Brogan, D. (1990). The internal clock: Evidence for a temporal oscillator underlying time perception with some estimates of its characteristic frequency. *Perception*, 19 (6), 705–742. <https://doi.org/10.1068/p190705>
- Underwood, G., Swain, R. A. (1973). Selectivity of attention and the perception of duration. *Perception*, 2 (1), 101–105. <https://doi.org/10.1068/p020101>
- Visalli, A., Begliomini, C., Mioni, G. (2023). The effect of emotion intensity on time perception: a study with transcranial random noise stimulation. *Experimental Brain Research*, 241 (8), 2179–2190.
- White, P. A. (2021). The extended present: An informational context for perception. *Acta Psychologica*, 220, 103403. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103403>
- Zakay, D., Block, R. A. (1995). An attentional-gate model of prospective time estimation. *Time and the Dynamic Control of Behavior*, 5, 167–178.
- Zhang, L., Li, D., Liu, P., Liu, X., Yin, H. (2024). The effect of the intensity of withdrawal-motivation emotion on time perception: Evidence based on the five temporal tasks. *Motivation Science*, 10 (2), 138–148.
- Zhao, C., Zeng, Q. (2022). The effect of electrical-stimulation-induced emotion on time perception: A time-reproduction task. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (24), 16984.
- Zhou, S., Li, L., Wang, F., Tian, Yu. (2021). How facial attractiveness affects time perception: Increased arousal results in temporal dilation of attractive faces. *Frontiers in Psychology*, 12, 784099.

Received: September 25, 2024

Accepted: November 18, 2024

Authors' information:

Almara K. Kulieva — PhD in Psychology; <https://orcid.org/0000-0003-4622-0896>, akkulieva@hse.ru

Timofei A. Berezner — Postgraduate Student, Research Assistant; <https://orcid.org/0000-0003-0704-6792>, tberezner@hse.ru

Anastasia N. Shishunova — Research Assistant; <https://orcid.org/0009-0000-3015-9109>, shishunova-an@ranepa.ru

Daria Malysheva — Research Assistant; <https://orcid.org/0000-0003-2981-8642>, d.malysheva@hse.ru