

Научная статья

УДК 159.938

<https://doi.org/10.21702/rpj.2022.4.11>

## Вклад различных пространственных модуляций в управление экзогенным вниманием: исследование методом N2pc

Евгений Г. Родионов

<sup>1, 2, 3</sup> Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

[ew.rodionov@gmail.com](mailto:ew.rodionov@gmail.com)

**Аннотация: Введение.** Механизмы экзогенного внимания, обладая высокой чувствительностью к физическим характеристикам сенсорных сигналов, обеспечивают первичную адаптацию к окружающей среде. Мы предположили, что нелокальные признаки зрительной сцены могут иметь разный приоритет в привлечении экзогенного внимания. Процесс экзогенного ориентирования в ситуации попарной конкуренции модулированных текстур впервые изучен посредством выделения компонента N2pc. В результате исследования мы установили особенности распределения внимания в парах пространственных признаков, модулированных на текстурах, расширив представление о работе механизмов экзогенного контроля в зрительной системе. **Методы.** В исследовании приняли участие 32 человека в возрасте  $18,2 \pm 0,4$  лет с нормальным зрением. Эксперимент состоял из трех частей, выполняемых по одной схеме: задачей испытуемого было найти данный в инструкции целевой стимул (модулированную текстуру) среди декоя (другой модулированной текстуры) и дистракторов. Во время эксперимента осуществлялась запись ЭЭГ с целью анализа компонента N2pc. **Результаты.** Основываясь на сравнении компонента N2pc, было обнаружено, что модуляции контраста и ориентации в большей мере привлекают экзогенное внимание, чем модуляция пространственной частоты. Теоретическая значимость результатов заключается в изучении фундаментальных механизмов экзогенного контроля в зрительной системе. Результаты изучения этого процесса могут быть применимы в разработке графических интерфейсов, систем «мозг – компьютер», а также в решении широкого круга задач инженерной психологии, связанных с оптимизацией человеко-машинного взаимодействия. **Обсуждение результатов.** Модуляции контраста и ориентации могут иметь больший приоритет для экзогенного внимания, чем модуляция пространственной частоты. В ситуации одновременного предъявления с последней, модуляции контраста и ориентации могут в значительной степени отвлекать на себя внимание вследствие их большей салиентности. Меньшая латентность компонента N2pc в ответ на модуляцию ориентации позволяет предположить приоритетность ее обработки в сравнении с модуляциями контраста и пространственной частоты.

Родионов Е. Г.

Вклад различных пространственных модуляций в управление экзогенным вниманием...

**Российский психологический журнал**, 2022, Т. 19, № 4, 159–172. doi: 10.21702/rpj.2022.4.11

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

---

**Ключевые слова:** управление вниманием, экзогенное внимание, зрительные фильтры, компонент N2pc, салиентность, пространственная модуляция, контраст, ориентация, пространственная частота, зрительный поиск

### **Основные положения:**

- пространственные модуляции разной размерности в разной степени привлекают экзогенное внимание;
- модуляция пространственной частоты вносит значимо меньший вклад в управление зрительным вниманием, чем модуляции контраста и ориентации;
- модуляция ориентации является наиболее приоритетной в конкуренции за внимание в сравнении с модуляциями контраста и пространственной частоты.

---

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта № 20-64-47057

**Для цитирования:** Родионов, Е. Г. (2022). Вклад различных пространственных модуляций в управление экзогенным вниманием: исследование методом N2pc. *Российский психологический журнал*, 19(4), 159–172. <https://doi.org/10.21702/rpj.2022.4.11>

---

## **Введение**

Процессы внимания позволяют мозгу преодолевать ограничения своих возможностей обработки, усиливая важную визуальную информацию и подавляя ненужную. Чтобы адаптивно взаимодействовать с окружающим миром, полезно выбирать ту информацию, которая имеет отношение к нашим целям, и игнорировать то, что к ним не относится. Однако некоторые события не должны оставаться без нашего внимания, даже если напрямую не связаны с текущими целями. Фундаментальный исследовательский вопрос касается механизмов, которые контролируют, в какие области зрительной сцены будет направлено внимание. С одной стороны, направленность внимания может контролироваться свойствами стимула, независимо от целей наблюдателя. Например, заметный новый объект, внезапно появляющийся в поле зрения, привлечет наше внимание (Theeuwes, 1994). Этот режим контроля известен как экзогенный контроль (или управляемый стимулами, непроизвольный, восходящий). Механизмы экзогенного контроля чувствительны к физическим характеристикам сигналов сенсорных систем. Они обеспечивают первичную адаптацию к окружающей среде, позволяя ориентироваться и быстро реагировать на внезапные события (Klein, 2009). Это обуславливает ряд особенностей, характерных для данного типа ориентирования. Экзогенное внимание быстро, устойчиво к помехам и не требует сознательного контроля, а его эффекты проявляются уже через 100 мс после аттрактора (Hopfinger & West, 2006). Экзогенный контроль не зависит от top-down влияний, но его эффекты могут быть быстро подавлены, если попавший во внимание объект не соответствует актуальной задаче (Theeuwes et al., 2000). С другой стороны, выбор объекта для внимания может зависеть от наших целей, ожиданий или внешних инструкций. Например, испытуемый может обратить внимание на какой-либо объект, следуя инструкции (Findlay, 1997). Этот режим контроля известен как эндогенный (или целенаправленный, сознательный, нисходящий).

Считается, что экзогенное внимание привлекается так называемыми областями интереса, причем между ними может иметь место конкуренция. Эти области несут в себе основной объем считываемой информации, и результат обработки именно этой информации фиксируется в памяти в виде репрезентаций зрительных образов (Rayner, 2009). С открытием Д. Хьюбелом и Т. Визелом функций стриарных нейронов зрительной коры (Hubel & Wiesel, 1962) закрепились идея, согласно которой конкуренция за внимание между различными участками зрительной сцены основана на сравнении первичных (базовых) признаков – градиентов яркости, цвета и т. д. Однако стриарные нейроны описывают градиенты яркости внутри своих относительно небольших рецептивных полей, вследствие чего модель стриарного нейрона может объяснить обнаружение лишь ограниченного числа модуляций, например модуляции яркости. Но что окажется на выходе модели стриарного нейрона при проецировании на нее модуляции контраста, субъективно схожей с модуляцией яркости? Если средняя яркость низкоконтрастных и высококонтрастных участков изображения равна и при этом не отличается от средней яркости изображения, линейный детектор на выходе даст ноль, и модуляция не будет обнаружена. Тем не менее, наблюдатель с нормальным зрением без усилий обнаруживает модуляцию контраста.

Другое подтверждение недостаточности вероятностной суммации ответов стриарных нейронов для полноценного восприятия зрительных сцен обнаруживается в отчетах пациентов, зоны зрительной коры которых повреждены инсультом. При локальном повреждении стриарной коры у больных диагностируется скотома – слепой участок в поле зрения (Chandra et al., 2017), в то время как повреждения экстрастриарных зон приводят к разнообразным агнозиям – предметной, лицевой, оптико-моторной и т. д., при сохранении общей целостности поля зрения (Тихомиров и др., 2021). Перечисленные факты позволили предположить наличие в зрительной системе механизмов, особым образом группирующих ответы стриарных нейронов на больших участках поля зрения. Эти механизмы сегодня известны как зрительные фильтры второго порядка, первые представления о которых были сформулированы уже в конце 80-х гг. прошлого столетия (Бабенко, 1989; Chubb & Sperling, 1989; Fogel & Sagi, 1989; Sutter et al., 1989). В основу этих представлений легла схема «фильтрация – выпрямление – фильтрация», пришедшая на смену модели множественных детекторов при объяснении результатов экспериментов с модулированными текстурами. Важно отметить, что эта модель в своем первоначальном виде рассматривалась как универсальная для обнаружения как модуляций контраста, так и пространственной частоты и ориентации. В дальнейшем же это породило проблему специфичности зрительных механизмов второго порядка и поставило вопрос о том, какой именно механизм отвечает за различение этих типов модуляции, учитывая, что наблюдатель различает их без дополнительных усилий (вероятно, на преаттентивном уровне) (Yavna et al., 2009; Babenko et al., 2020). В настоящий момент существует целый ряд исследований, в которых показана относительная независимость каналов, детектирующих различные пространственные модуляции (Kingdom et al., 2003; Cruickshank & Schofield, 2005; Явна, 2012; Babenko & Ermakov, 2015). Кроме того, в последние годы были получены данные, свидетельствующие о том, что фильтры второго порядка могут исполнять роль «ворот» внимания (Бабенко, Явна, 2018). Находясь на выходе преаттентивного этапа обработки зрительной информации, эти структуры могут управлять вниманием снизу вверх, предположительно маркируя наиболее информативные области. Поскольку в зрительной сцене одновременно присутствует каждая из представленных модуляций, эти области зрительной сцены могут в разной степени привлекать внимание наблюдателя. Нами была предпринята попытка оценить

приоритетность модуляций контраста, ориентации и пространственной частоты в привлечении внимания при помощи анализа вызванного компонента N2pc, зафиксированного в задаче зрительного поиска. Цель текущей работы – определить, в какой мере каждая из модуляций приоритетна для экзогенного внимания. Данная задача впервые реализуется посредством выделения компонента N2pc.

Компонент N2pc представляет собой потенциал, связанный с событием, проявляющийся контралатерально месту зрительной сцены, на которое обращает внимание субъект: если испытуемые обращают внимание на левую часть поля зрения, N2pc появляется в правом полушарии мозга, и наоборот. Свое название этот компонент получил в статье С. Лака и С. Хилларда (Luck & Hillyard, 1994): буква «N» обозначает отрицательную полярность, цифра «2» – порядковый номер компонента (пиковой амплитуды N2pc достигает через 180–300 мс после предъявления стимула (Luck, 2011)) а «pc» (сокращение от «posterior contralateral») указывает на пространственную локализацию, т. к. негативность формируется в теменно-затылочных отведениях контралатерального полушария. Компонент N2pc активно используется в качестве маркера внимания, регистрируемого посредством ЭЭГ. Первые работы, связанные с N2pc, использовали парадигму параллельного-последовательного зрительного поиска целей среди дистракторов, в которых было установлено, что хотя амплитуда N2pc в обоих случаях одинакова, протяженность негативной волны значительно выше в пробах с последовательным поиском. Это натолкнуло исследователей на мысль, что компонент N2pc отражает процесс фильтрации нерелевантной информации. Однако позже выяснилось, что N2pc возникает контралатерально предъявленному стимулу даже в том случае, когда дистракторов в его полуполе вовсе нет. На сегодня имеются данные, согласно которым для проявления компонента N2pc достаточно только одной цели в любом из полуполей (Ilse et al., 2020).

Этот компонент может рассматриваться в рамках двух больших теорий контроля внимания: теории восходящего управления вниманием (bottom-up attention, или экзогенное внимание) и теории нисходящего управления вниманием (top-down attention, или эндогенное внимание) (Gaspelin & Luck, 2019). Первая предполагает, что салиентные стимулы привлекают внимание автоматически и независимо от наших знаний и задач, вторая – что салиентные элементы могут игнорироваться, если они не соответствуют ожидаемым признакам цели поиска или предыдущему опыту. На данный момент очевидно, что нельзя рассматривать N2pc как компонент, отражающий исключительно bottom-up процессы, поскольку в таком случае не имела бы значения поставленная перед испытуемым задача. Однако в рамках классического эксперимента с N2pc происходит манипулирование целью при сохранении прочих равных условий. Таким образом, хотя фактически меняется только задача испытуемого, а общие характеристики визуальной сцены остаются неизменными, мы можем наблюдать более мощный отклик компонента N2pc в ответ на релевантный стимул, чем на нерелевантный (Luck, 2006). Нельзя отнести N2pc и к компонентам, отражающим исключительно top-down процессы ввиду большого количества экспериментальных данных, подтверждающих влияние на компонент физических характеристик стимулов (Gaspelin & Luck, 2018; Bartolomeo & Malkinson, 2019; Han et al., 2022).

Совокупность экспериментальных данных позволяет предположить, что в формирование N2pc вносят вклад как восходящие, так и нисходящие процессы. При конкуренции двух стимулов в разных полуполях, N2pc с высокой вероятностью будет привязан к стимулу, имеющему большую салиентность. Однако это справедливо только для ситуации, в которой оба стимула имеют одинаковую релевантность. Восходящие процессы внимания отражаются

в латентном периоде N2pc, практически не влияя на его амплитуду в задачах визуального поиска (Bachman et al., 2020). Нисходящие же процессы внимания модулируют амплитуду и длительность N2pc, организуя процесс зрительного поиска (Goller et al., 2020).

## Методы

В исследовании приняли участие 32 человека (25 женщин и 7 мужчин) с нормальным или корригированным до нормы зрением, средний возраст –  $18,2 \pm 0,4$  лет.

Исследование состояло из трех частей, процедура предъявления стимулов для каждой из которых была аналогичной. Испытуемый получал инструкцию как можно быстрее сообщить местоположение искомого стимула (цели), предъявляемого одновременно с отвлекающими изображениями (декой и дистракторами). Целевой стимул и декой всегда были представлены парой кругов диаметром 5,25 угл. градусов, заполненных текстурой, созданной путем суммирования случайно расположенных вертикальных микропаттернов Габора со средней длиной волны около 2 мм ( $\lambda = 8$  пикселей). Стимулы-аттракторы (целевое изображение и декой) были модулированы по контрасту, ориентации или пространственной частоте. Стимулы-дистракторы представляли собой круги без текстур, аналогичные модулированным по размеру и средней яркости. Каждая часть исследования была представлена парой модулированных текстур, предъявляемых одновременно (модуляция контраста – модуляция пространственной частоты, модуляция контраста – модуляция ориентации, модуляция ориентации – модуляция пространственной частоты) и разделена на две серии (табл. 1).

В начале каждой серии испытуемому демонстрировалась графическая инструкция, на которой слева было изображено целевое изображение, а справа – декой и дистрактор. Пример инструкции представлен на рисунке 1. Перед испытуемым ставилась задача как можно быстрее сообщить о местоположении целевого стимула, используя клавиши «влево» и «вправо». Очередность следования друг за другом частей и серий эксперимента была рандомизирована. Инструкции и стимулы предъявлялись на мониторе Philips 240V, с разрешением 1920 на 1080 точек при частоте кадровой развертки 60 Гц (IPS, диагональ 23"). Голова испытуемого фиксировалась в лобно-подбородочном упоре на расстоянии 60 см от экрана. Процедура предъявления инструкций, стимулов и записи ответов была написана на языке Python 3 с использованием библиотеки PsychoPy.

**Таблица 1**

Дизайн исследования

	Серия 1 (100 предъявлений)		Серия 2 (100 предъявлений)	
	Цель	Декой	Цель	Декой
МК – МЧ	МК	МЧ	МЧ	МК
МК – МО	МК	МО	МО	МК
МО – МЧ	МО	МЧ	МЧ	МО

*Примечание: цель – текстура, определение местоположения которой является задачей испытуемого; декой – отвлекающая текстура, предъявляемая одновременно с целью; МК – текстура, модулированная по контрасту; МЧ – текстура, модулированная по пространственной частоте; МО – текстура, модулированная по ориентации.*

## Рисунок 1

Пример слайда-инструкции

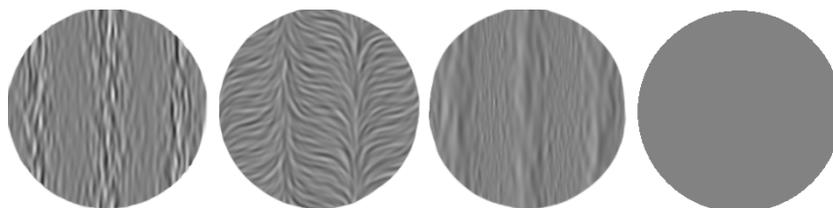


Здесь цель – текстура, модулированная по пространственной частоте (МЧ), декой – текстура, модулированная по ориентации.

Каждая серия состояла из 100 предъявлений. Каждое предъявление начиналось с демонстрации фиксационной точки, загоравшейся на экране на 1000–2000 мс. Затем на 500 мс предъявлялись 12 стимульных изображений: по 6 слева и справа. Стимульные изображения располагались на случайных позициях в рамках двух окон с левой и с правой стороны экрана (рисунок 3). Одним из стимульных изображений всегда была целевая текстура, еще одним – отвлекающая текстура (декой); каждая текстура могла быть предъявлена слева и справа с равной вероятностью. Остальные изображения были представлены дистракторами. Субъективно целевая текстура и декой выглядели как круги с вертикальными полосами, дистракторы – как идентичные друг другу однородные серые круги. Примеры стимулов показаны на рисунке 2. Каждое следующее предъявление запускалось сразу после ответа испытуемого, использовавшего клавиши «влево», «вправо» и «пробел» (нет ответа). Для каждого предъявления фиксировались ответ испытуемого и затраченное время. Каждая серия завершалась указанием отдохнуть в течение 40 секунд, после чего предъявлялась новая инструкция, в которой текстура, являвшаяся целью в прошлой серии, становилась декоем, а целью, соответственно, становилась текстура, выступавшая в роли декоя. Таким образом, обе серии выполнялись аналогично друг другу, отличаясь только инструкцией.

## Рисунок 2

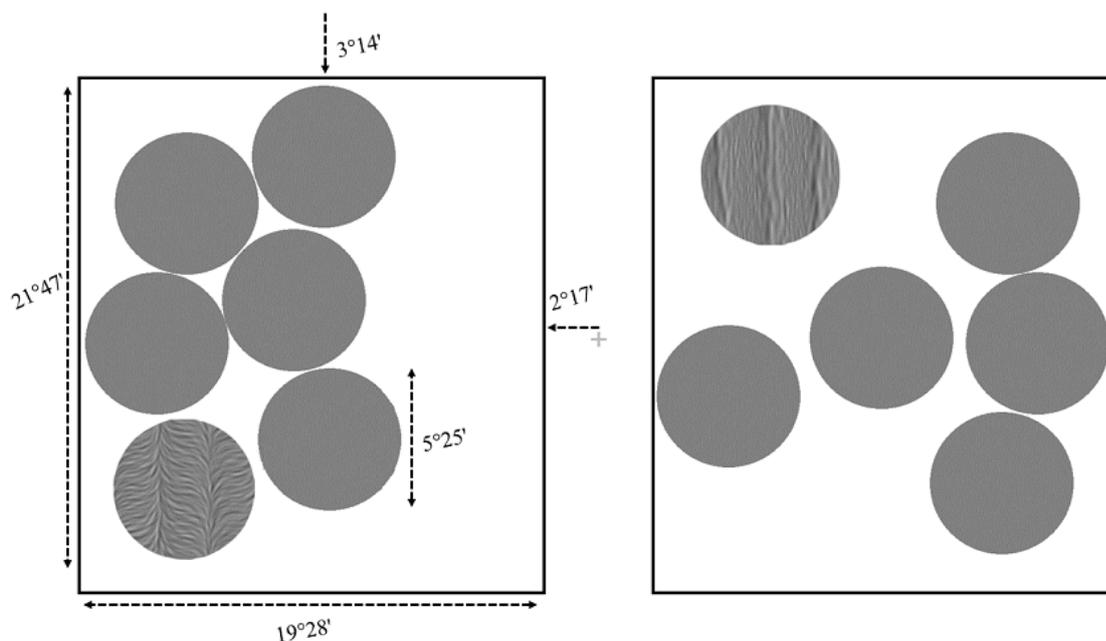
Изображения, использовавшиеся в качестве стимулов



Слева направо: модуляция контраста (МК), модуляция ориентации (МО), модуляция пространственной частоты (МЧ), дистрактор.

**Рисунок 3**

Размеры стимулов и демонстрационных окон в угловых градусах



Рамки и пунктирные линии изображены для наглядности. Стимульное наполнение соответствует части исследования «МО (модуляция ориентации) – МЧ (модуляция пространственной частоты)» (см. табл. 1). Цель, декой и дистракторы находятся в случайных позициях в пределах демонстрационных окон.

Запись ЭЭГ осуществлялась монополярно (в качестве индифферентного электрода использовался Fz) с помощью цифрового усилителя NV-40 ООО «Нейроботикс» в теменно-затылочных отведениях PO7/PO8 на частоте дискретизации 1000 Гц. Полоса частот усилителя ограничивалась сверху 30 Гц, снизу 0,5 Гц. Синхронизация вывода графики и ЭЭГ осуществлялась с помощью датчика светового потока через аналоговый канал синхронизации усилителя. Постстимульные эпохи ЭЭГ усреднялись отдельно для каждого испытуемого, пары «цель – декой» и стороны, с которой предъявлялся целевой стимул. Из анализа удалялись эпохи, связанные с ошибочно определенным положением целевого стимула, а также эпохи, в которых ответ испытуемого задерживался более чем на 1 секунду.

Для каждого испытуемого вычислялась средняя для каждой пары «цель – декой» d-волна – кривая, представляющая собой помилисекундную разницу ВП для контр- и ипсилатеральных предъявлений целевого стимула. Индивидуальные разностные кривые усреднялись, для результатов усреднений строились доверительные интервалы ( $\alpha = 0,05$ ). Далее для каждой пары «цель – декой» вычислялась средняя мощность компонента N2pc, выраженная в сумме всех статистически значимых негативных значений d-волны ( $p < 0,05$ ).

## Результаты

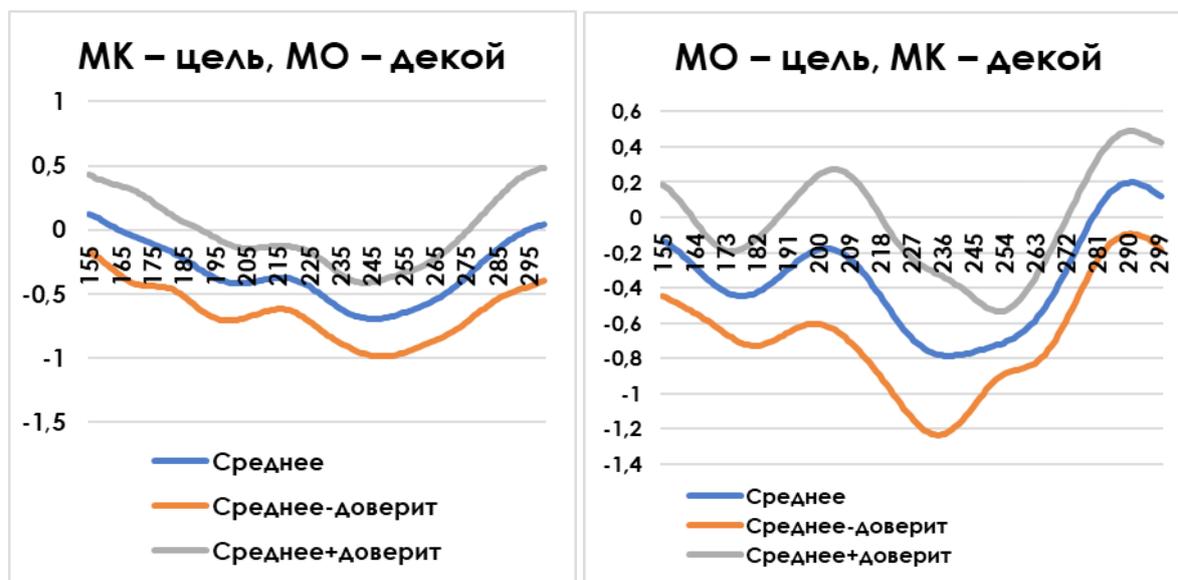
На рисунке 4 представлены разностные волны рассогласования ССП на контра- и ипсилатеральные цели в отведениях P07/P08 во временном интервале 155–300 мс с верхней и нижней границей студентского доверительного интервала ( $\alpha = 0,05$ ). Слева представлен компонент N2pc в ответ на МК как цель, а МО – как декой, график справа отражает N2pc в ответ на обратную ситуацию.

N2pc в ответ на условие «МК – цель, МО – декой» регистрируется на уровне статистической значимости ( $p < 0,05$ ) со 191 по 275 мс, достигая своего пика ( $-0,69 \pm 0,27$  мкВ) на 243 мс.

В обратной задаче, когда в качестве цели выступала модуляция ориентации, а декой был представлен текстурой, модулированной по контрасту (условие «МО – цель, МК – декой»), компонент N2pc регистрировался на уровне статистической значимости ( $p < 0,05$ ) на двух временных интервалах: со 164 по 188 мс с пиком ( $-0,44 \pm 0,24$  мкВ) на 175 мс, и с 219 по 272 мс с пиком ( $-0,72 \pm 0,18$  мкВ) на 253 мс.

### Рисунок 4

N2pc в отведениях P07/P08 на цель, модулированную по контрасту (слева), и цель, модулированную по ориентации (справа)



Красной и серой линиями обозначены, соответственно, нижняя и верхняя границы доверительного интервала для d-волны. По оси абсцисс – время в мс, по оси ординат – разность потенциалов в мкВ.

Общая мощность компонента N2pc в условии «МК – цель, МО – декой» составила  $-55,08 \pm 11,44$  мкВ, для обратной задачи («МО – цель, МК – декой») мощность составила  $-55,70 \pm 13,51$  мкВ. Статистически значимых различий показателя мощности компонента N2pc для данной пары модулированных текстур не обнаружено.

Обратимся к следующей паре модулированных текстур. На рисунке 5 представлены графики N2pc, зарегистрированного в отведениях P07/P08 во временном интервале 155–300 мс

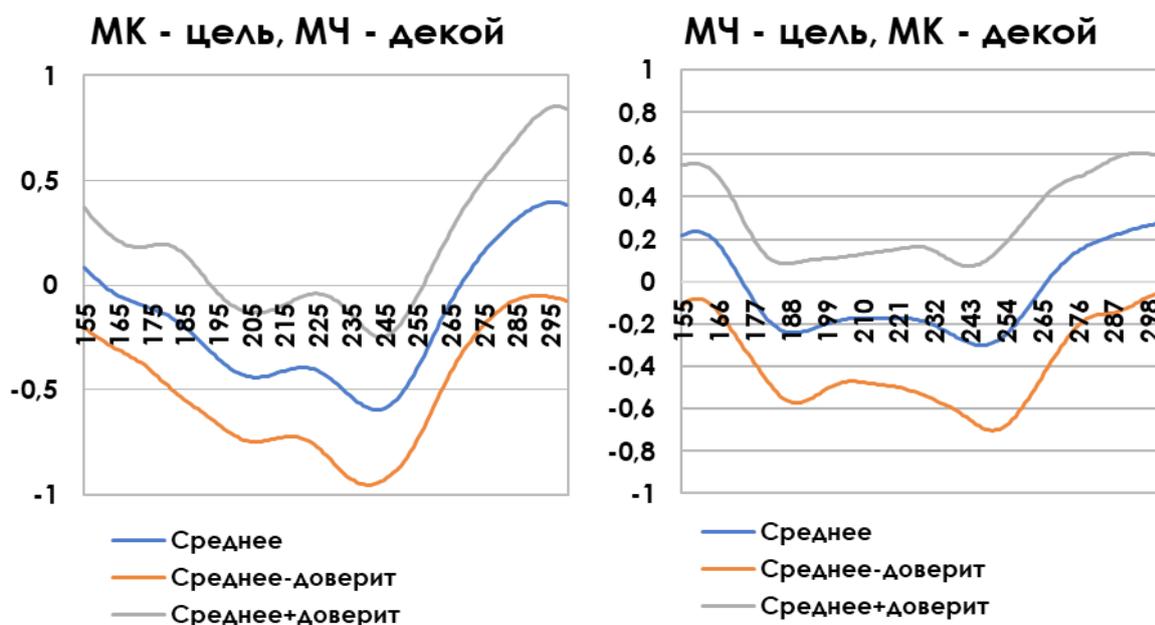
с верхней и нижней границей студентовского доверительного интервала ( $\alpha = 0,05$ ). Слева представлен компонент N2pc в ответ на МК как цель в паре с декодом в виде текстуры, модулированной по пространственной частоте. График справа отражает N2pc в ответ на обратную ситуацию.

N2pc в ответ на условие «МК – цель, МЧ – декод» регистрируется на уровне статистической значимости ( $p < 0,05$ ) со 193 по 256 мс, достигая своего пика ( $-0,60 \pm 0,34$  мкВ) на 244 мс. Средняя мощность компонента N2pc на значимых участках d-волны составила  $-42,25 \pm 11,90$  мкВ.

В обратной задаче (условие «МЧ – цель, МК – декод») значимого прироста негативности в контралатеральных отведениях не зарегистрировано.

### Рисунок 5

Разностные волны в отведениях P07/P08 на цель, модулированную по контрасту (слева), и цель, модулированную по пространственной частоте (справа)

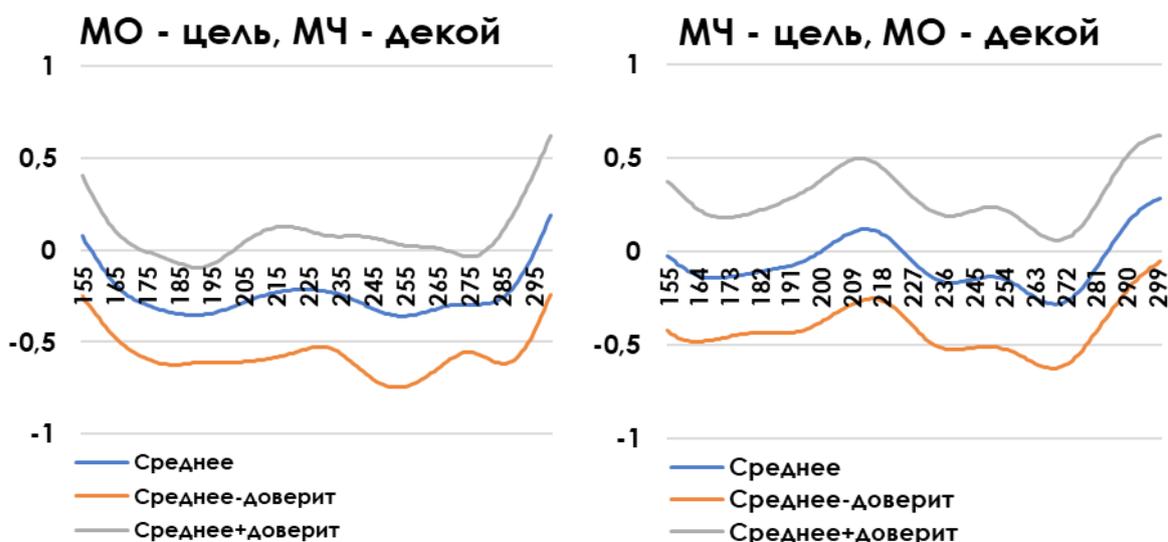


Красной и серой линиями обозначены, соответственно, нижняя и верхняя границы доверительного интервала для d-волны. По оси абсцисс – время в мс, по оси ординат – разность потенциалов в мкВ.

Рассмотрим последнюю пару модулированных текстур. На рисунке 6 представлены графики N2pc, зарегистрированного в отведениях P07/P08 во временном интервале 155–300 мс с верхней и нижней границей студентовского доверительного интервала ( $\alpha = 0,05$ ). Слева представлен компонент N2pc в ответ на МО как цель в паре с декодом в виде текстуры, модулированной по пространственной частоте. График справа отражает N2pc в ответ на обратную ситуацию.

**Рисунок 6**

Разностные волны в отведениях  $Po7/Po8$  на цель, модулированную по ориентации (слева), и цель, модулированную по пространственной частоте (справа)



Красной и серой линиями обозначены, соответственно, нижняя и верхняя границы доверительного интервала для  $d$ -волны. По оси абсцисс – время в мс, по оси ординат – разность потенциалов в мкВ.

$N2pc$  в ответ на условие «МО – цель, МЧ – декой» регистрируется на уровне статистической значимости ( $p < 0,05$ ) на двух временных интервалах: со 174 по 201 мс с пиком ( $-0,35 \pm 0,25$  мкВ) на 191 мс, и с 268 по 280 мс с пиком ( $-0,30 \pm 0,25$  мкВ) на 275 мс. Средняя мощность компонента  $N2pc$  для данного условия составила  $-22,27 \pm 5,75$  мкВ.

В обратной задаче (условие «МЧ – цель, МО – декой») не обнаружено статистически значимого компонента  $N2pc$  в ответ на целевую текстуру.

### Обсуждение результатов

Дизайн нашего исследования позволяет предположить равную релевантность стимулов, выступающих в качестве целей зрительного поиска: в каждой части нашего эксперимента испытуемый выполнял одну и ту же задачу, а процедура предъявления стимулов была организована по одному и тому же алгоритму. На наш взгляд, нет оснований предполагать, что испытуемые могли испытывать влияния, побуждающие их субъективно выделять какие-то текстуры на фоне других. Единственным фактором, модулирующим эндогенное внимание в нашем эксперименте, была инструкция, что отвечает основным методическим требованиям к экспериментам с регистрацией  $N2pc$  (Luck, 2006).

Мы обнаружили, что в паре «модуляция контраста – модуляция ориентации»  $N2pc$  обладает меньшим латентным периодом, когда целью зрительного поиска является модулированная по ориентации текстура. Это соотносится с результатом, полученным в паре «модуляция ориентации – модуляция пространственной частоты». В данной задаче компонент  $N2pc$  также

проявлялся достаточно рано в ответ на модулированную по ориентации текстуру в качестве цели, с пиком ( $-0,35 \pm 0,25$  мкВ) на 191 мс. Согласно выводам, сформулированным в ряде исследований, латентный период компонента N2pc связан с физическими характеристиками зрительной сцены: салиентный стимул способен быстро привлечь внимание наблюдателя еще до включения механизмов эндогенного контроля, что отражается в раннем возникновении компонента N2pc (Bachman et al., 2020; Mudrik & Deouell, 2022). Исходя из этого, мы можем предположить, что модуляция ориентации обладает большей заметностью как на фоне модуляции контраста, так и на фоне модуляции пространственной частоты.

Мы не обнаружили проявлений компонента N2pc в ответ на модуляцию пространственной частоты в качестве цели. Статистически значимого нарастания негативности между контра- и ипсилатеральными отведениями не зарегистрировано ни в задаче, когда модуляция пространственной частоты предъявлялась в паре с модуляцией контраста в качестве декоя, ни в задаче, в которой декоем выступала модуляция ориентации. Однако отсутствие компонента N2pc само по себе не является показателем отсутствия смещения внимания, поскольку стимулы, предъявляемые в качестве отвлекающих факторов, могут редуцировать компонент N2pc, оставляя целевой стимул обнаружимым (Zivony et al., 2018). Мы склонны интерпретировать полученный нами результат как свидетельство восходящих влияний текстур-декоев, проявляющихся вследствие их большей (относительно текстуры, модулированной по пространственной частоте) салиентности. В обратных задачах, когда модуляция пространственной частоты выступала декоем, а модуляции контраста и ориентации, соответственно, целями, компонент N2pc регистрируется на уровне значимости  $p < 0,05$ .

### **Заключение**

На основании полученных результатов мы можем сделать следующие выводы:

5. Текстуры, модулированные по контрасту и ориентации, привлекают внимание значительно сильнее, чем текстура, модулированная по пространственной частоте.
6. Модулированные по контрасту и ориентации текстуры, вероятно, обнаруживаются благодаря механизмам экзогенного контроля. Прямым подтверждением этой гипотезы служит относительно небольшая латентность компонента N2pc.

Полученные результаты позволят существенно расширить представления о механизмах формирования образов и могут быть использованы при решении прикладных проблем в сфере информационных технологий и образования.

### **Литература**

- Бабенко, В. В. (1989). Новый подход к вопросу о механизмах зрительного восприятия. В *Проблемы нейрокибернетики* (с. 10–11). ИРУ.
- Бабенко, В. В., Явна, Д. В. (2018). Конкуренция за внимание пространственных модуляций градиентов яркости. *Российский психологический журнал*, 15(3), 160–189. <https://doi.org/10.21702/rpj.2018.3.8>
- Тихомиров, Г. В., Григорьева, В. Н., Суркова, А. С. (2021). Зрительная объектная агнозия при остром ишемическом инсульте: первый нейровизуализационный биомаркер. *Доктор.Ру*, 20(9), 6–10. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2021-20-9-6-10>
- Явна, Д. В. (2012). *Психофизиологические особенности зрительного восприятия пространственно модулированных признаков* (кандидатская диссертация). Южный федеральный университет.

- Babenco, V. V., & Ermakov, P. N. (2015). Specificity of brain reactions to second-order visual stimuli. *Visual Neuroscience*, 32. <https://doi.org/10.1017/S0952523815000085>
- Babenco, V. V., Yavna, D. V., & Rodionov, E. G. (2020). Contributions of different spatial modulations of brightness gradients to the control of visual attention. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 50, 1035–1042. <https://doi.org/10.1007/s11055-020-00994-z>
- Bachman, M. D., Wang, L., Gamble, M. L., & Woldorff, M. G. (2020). Physical salience and value-driven salience operate through different neural mechanisms to enhance attentional selection. *Journal of Neuroscience*, 40(28), 5455–5464. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1198-19.2020>
- Bartolomeo, P., & Malkinson, T. S. (2019). Hemispheric lateralization of attention processes in the human brain. *Current Opinion in Psychology*, 29, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.12.023>
- Chandra, A., Stone, C. R., Du, X., Li, W. A., Huber, M., Bremer, R., Geng, X., & Ding, Y. (2017). The cerebral circulation and cerebrovascular disease III: Stroke. *Brain Circulation*, 3(2), 66–77. [https://doi.org/10.4103/bc.bc\\_12\\_17](https://doi.org/10.4103/bc.bc_12_17)
- Chubb, C., & Sperling, G. (1989). Two motion perception mechanisms revealed through distance-driven reversal of apparent motion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 86(8), 2985–2989. <https://doi.org/10.1073/pnas.86.8.2985>
- Cruickshank, A. G., & Schofield, A. J. (2005). Transfer of tilt after-effects between second-order cues. *Spatial Vision*, 18(4), 379–397. <https://doi.org/10.1163/1568568054389624>
- Findlay, J. M. (1997). Saccade target selection during visual search. *Vision Research*, 37(5), 617–631. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(96\)00218-0](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(96)00218-0)
- Fogel, I., & Sagi, D. (1989). Gabor filters as texture discriminator. *Biological Cybernetics*, 61, 103–113. <https://doi.org/10.1007/BF00204594>
- Gaspelin, N., & Luck, S. (2019). Inhibition as a potential resolution to the attentional capture debate. *Current Opinion in Psychology*, 29, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.10.013>
- Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018). Combined electrophysiological and behavioral evidence for the suppression of salient distractors. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(9), 1265–1280. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_01279](https://doi.org/10.1162/jocn_a_01279)
- Goller, F., Schoeberl, T., & Ansorge, U. (2020). Testing the top-down contingent capture of attention for abrupt-onset cues: Evidence from cue-elicited N2pc. *Psychophysiology*, 57(11). <https://doi.org/10.1111/psyp.13655>
- Han, Y., Tan, Z., Zhuang, H., & Qian, J. (2022). Contrasting effects of exogenous and endogenous attention on size perception. *British Journal of Psychology*, 113(1), 153–175. <https://doi.org/10.1111/bjop.12529>
- Hopfinger, J. B., & West, V. M. (2006). Interactions between endogenous and exogenous attention on cortical visual processing. *NeuroImage*, 31(2), 774–789. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.12.049>
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *The Journal of Physiology*, 160(1), 106–154. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1962.sp006837>
- Ilse, A., Donohue, S. E., Schoenfeld, M. A., Hopf, J. M., Heinze, H.-J., & Harris, J. A. (2020). Unseen food images capture the attention of hungry viewers: Evidence from event-related potentials. *Appetite*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104828>
- Kingdom, F., Prins, N., & Hayes, A. (2003). Mechanism independence for texture-modulation detection is consistent with a filter-rectify-filter mechanism. *Visual Neuroscience*, 20(1), 65–76. <https://doi.org/10.1017/s0952523803201073>

- Klein, R. (2009). On the control of attention. *Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 63(3), 240–252. <https://doi.org/10.1037/a0015807>
- Luck, S. J. (2006). The operation of attention – millisecond by millisecond – over the first half second. In H. Ögmen, & B. G. Breitmeyer (Eds.), *The first half second: The microgenesis and temporal dynamics of unconscious and conscious visual processes* (pp. 187–206). MIT Press.
- Luck, S. J. (2011). Electrophysiological correlates of the focusing of attention within complex visual scenes: N2pc and related ERP components. In E. S. Kappenman, & S. J. Luck (Eds.), *The Oxford handbook of event-related potential components*. Oxford Library of Psychology. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0161>
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(5), 1000–1014. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.20.5.1000>
- Mudrik, L., & Deouell, L. Y. (2022). Neuroscientific evidence for processing without awareness. *Annual Review of Neuroscience*, 45, 403–423. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-110920-033151>
- Rayner, K. (2009). The 35th Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457–1506. <https://doi.org/10.1080/17470210902816461>
- Sutter, A., Beck, J., & Graham, N. (1989). Contrast and spatial variables in texture segregation: Testing a simple spatial-frequency channels model. *Perception & Psychophysics*, 46, 312–332. <https://doi.org/10.3758/bf03204985>
- Theeuwes, J. (1994). Stimulus-driven capture and attentional set: selective search for color and visual abrupt onsets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(4), 799–806. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.20.4.799>
- Theeuwes, J., Atchley, P., & Kramer, A. F. (2000). On the time course of top-down and bottom-up control of visual attention. *Attention and Performance*, 18, 104–124.
- Yavna, D., Babenko, V., & Soloviev, A. (2009). Visual search of the second-order targets with uncertainty. *Perception*, 38, 55.
- Zivony, A., Allon, A. S., Luria, R., & Lamy, D. (2018). Dissociating between the N2pc and attentional shifting: An attentional blink study. *Neuropsychologia*, 121, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.11.003>

Поступила в редакцию: 09.12.2022

Поступила после рецензирования: 26.12.2022

Принята к публикации: 27.12.2022

#### **Заявленный вклад авторов**

**Евгений Геннадьевич Родионов** – планирование и проведение исследования, написание обзорной части статьи.

Родионов Е. Г.

Вклад различных пространственных модуляций в управление экзогенным вниманием...

**Российский психологический журнал**, 2022, Т. 19, № 4, 159–172. doi: 10.21702/rpj.2022.4.11

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

---

#### **Информация об авторах**

**Евгений Геннадьевич Родионов** – ассистент, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация; Scopus Author ID: 57219781878, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2875-4640>, e-mail: ew.rodionov@gmail.com

#### **Информация о конфликте интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.