

Функциональное состояние зрительного анализатора: современные представления о методиках его оценки и применении функциональной магнитно-резонансной томографии

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Оценка функционального состояния зрительного анализатора весьма важна для практической врачебной работы. При проведении исследования остроты и полей зрения часто возникают значительные трудности. Методики, используемые для традиционной оценки, субъективны и основаны на ответах испытуемого, что не всегда отражает истинное состояние зрительного анализатора.

Рассмотрены современные представления об объективной оценке функционального состояния зрительного анализатора с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии. Установлено, что выполнение функциональной магнитно-резонансной томографии при различных патологических состояниях позволяет не только оценить организацию и функциональную специализацию зрительной коры головного мозга, но и сделать выводы о взаимосвязи между зонами зрительной коры и специфическими когнитивными функциями. Тем не менее, функциональная магнитно-резонансная томография пока не позволяет определять кортикальные механизмы на уровне отдельных нейронов. На сегодняшний день сравнительные исследования, проводимые на здоровых добровольцах и пациентах с патологическими изменениями, помогают судить о функциональной организации коры головного мозга.

В целом, функциональная магнитно-резонансная томография является объективной, высокоэффективной и неинвазивной методикой современной нейровизуализации и может успешно использоваться в клинической офтальмологической практике.

Ключевые слова: зрительный анализатор, функциональная магнитно-резонансная томография, поля зрения, острота зрения, нейровизуализация, активация зрительной коры, зрительный стимул.

Оценка функционального состояния зрительного анализатора весьма важна не только для выяснения физиологических возможностей человека, но и для практической врачебной работы. Традиционная визометрия с использованием таблиц Головина – Сивцева уже на протяжении 80 лет остается основной методикой, позволяющей оценить центральное зрение. Однако при её проведении имеется ряд значительных трудностей. Значимость различных строк в традиционной таблице для визометрии неодинакова. В первой строке расположено лишь два оптотипа, а в десятой их уже восемь. Недостатком классических таблиц является разное количество оптотипов в строках и невозможность проведения исследования в широком диапазоне величин [1, 6, 11].

Исследование полей зрения также является важной проблемой, поскольку при некоторых заболеваниях (опухоль, острое нарушение мозгового кровообращения) гемианопсия может быть единственным неврологическим симптомом. В настоящее время исследование полей зрения осуществляют на компьютерных периметрах, которые позволяют проводить статическую, кинетическую и цветную периметрию. Данная методика дает возможность оценить границы поля зрения в со-

ответствии с показаниями испытуемого (по моменту первого восприятия объекта). В современных условиях для динамического контроля за состоянием зрительных функций наибольшей популярностью в мире пользуется статическая автоматизированная периметрия (САП) [7, 15, 27]. Однако результаты множественных исследований зачастую свидетельствуют о недостаточной чувствительности и специфичности САП при оценке поля зрения, а также довольно высокой вариабельности данных от исследования к исследованию [17, 19, 27, 28]. Методика весьма чувствительна к расфокусировке, помутнениям оптических сред глаза, например при катаракте, и не дает корректного результата из-за повышенного поглощения коротковолнового излучения оптическими средами. Повышенная вариабельность результатов затрудняет оценку прогрессирования глаукомы [7, 20, 21, 28, 35]. Кроме того, на проведение исследования требуется больше времени, чем при обычном тесте полного порога, что ограничивает ее использование в практике [17, 28, 30]. В последних работах авторы указывают на недостаточную чувствительность и специфичность статической автоматической периметрии [15, 28]. Кроме того, многие авторы отмечают наличие «кривой обучения» (эффекта обучения), которая

усложняет интерпретацию полученных данных у новых пациентов, проходящих исследование в первый раз. При этом обычно необходимо провести 2–3, а иногда и более исследований, прежде чем будет достигнут надежный результат [17, 19, 28, 31, 36, 37].

Рассмотренные выше методики исследования поля зрения субъективны, т.е. основаны на ответах испытуемого. В связи с этим могут возникать некоторые трудности, связанные с общим психофизиологическим состоянием больного, которые могут негативно влиять на результаты исследования. Это нередко снижает качество информации, а иногда вообще исключается возможность проведения исследования, как, например, у детей или в случае затрудненного контакта с пациентом [2].

На сегодняшний день в офтальмологической практике используются современные методики лучевой диагностики, например компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), совмещенная позитронно-эмиссионная компьютерная томография (ПЭТ), ультразвуковое исследование (УЗИ), которые позволяют выявить и оценить морфологические изменения практически всех отделов зрительного анализатора [8, 29, 33].

УЗИ – высокоинформативная инструментальная методика, являющаяся дополнением к общепризнанным клиническим методикам офтальмологической диагностики. Она получила широкое применение в офтальмологии. Основными показаниями к её проведению являются: повреждения глазного яблока, резкое снижение прозрачности светопроводящих структур, миопия, отслойка сосудистой оболочки и сетчатки, наличие инородных внутриглазных тел, опухоли, повреждения зрительного нерва, наличие участков обрывов в оболочках глаза и области зрительного нерва, кроме этого, динамическое наблюдение за проводимым лечением, изучение характеристик кровотока в сосудах орбиты, исследования перед МРТ или КТ. Однако применение УЗИ ограничено структурами периферического отдела зрительного анализатора.

КТ является высокоинформативной диагностической методикой различных заболеваний глазницы и головного мозга. При КТ одновременно визуализируются глазное яблоко, зрительный нерв, экстраокулярные мышцы, костные и мягкотканые структуры орбиты и окружающие орбиту пазухи. Кроме того, КТ является наиболее информативной и перспективной методикой диагностики травм глаза и структур орбиты, в определении точной локализации и глубины залегания инородных тел. КТ позволяет лучшим образом изучить костные стенки глазниц, выявить патологическое образование; эту методику применяют при экзофтальме неясного генеза. В отношении изменений полей и остроты зрения при поражении центральных отделов зрительного анализатора КТ также информативна. Она дает возможность выявить не только опухолевые процессы в головном мозге, участки нарушения мозгового кровообращения и их последствий, но и очаговые поражения, например при рассеянном склерозе.

Аппаратура однофотонной эмиссионной КТ (ОФЭКТ)- и ПЭТ-визуализации при её доступности может быть использована для подтверждения диагноза совместно с другими методиками [5, 8, 18]. Совмещенная ПЭТ/КТ используется в клинической практике как способ функциональной оценки состояния коркового вещества головного мозга, оценки гипоперфузии или гипометаболических процессов. Это важно при оценке коры в результате отравления окисью углерода, постигипоксической ишемии, постэпилептических припадков, когда изображение головного мозга при КТ и МРТ не отличается существенно от предположительной нормы.

Для объективной оценки поля зрения с помощью ПЭТ/КТ во время исследования осуществляется зрительная стимуляция с помощью мерцающих диодов, расположенных концентрически в 3, 7, 14, 21 и 29 градусах от точки фиксации. Далее регистрируются зоны активации мозга в ответ на стимуляцию, тем самым получают объективные данные [18, 23, 29].

Таким образом, ОФЭКТ и ПЭТ исследования больных позволяют установить патологическое поражение при изменении полей и остроты зрения, в совокупности с клинико-лабораторными данными предоставить ценную дополнительную диагностическую информацию. Однако карты функционально-активных участков, которые получаются с применением ПЭТ/КТ, имеют ограниченные пространственное и временное разрешения. Эти методики лучевой диагностики крайне малодоступны в клинической практике ввиду высокой стоимости исследования и отсутствия необходимого оборудования в большинстве лечебных учреждений.

Наибольший интерес среди исследователей в диагностике заболеваний органа зрения вызывает МРТ [9, 12, 13, 24, 25, 32, 33]. По данным отечественной и зарубежной литературы, МРТ имеет преимущество перед остальными методиками лучевой диагностики, так как обладает большими диагностическими возможностями в раннем выявлении поражения органа зрения, особенно его центрального отдела [9, 24, 34].

МРТ позволяет более детально оценить состояние орбит, является дополнительной методикой в оценке их изменений. Несомненным преимуществом МРТ в диагностике патологии орбиты является высокая точность в определении всех мягкотканых компонентов орбиты, вплоть до оболочек зрительного нерва и периневральных ликворных пространств. МРТ – решающая методика в распознавании аденом и других новообразований гипофиза, вызывающих компрессию структур хиазмально-селлярной области [4].

Такие методики МРТ, как протонная спектроскопия (H1-MPC), диффузионная-тензорная МРТ, перфузионная МРТ дают дополнительную диагностическую ценную информацию. С помощью H1-MPC становится возможным прижизненно неинвазивно определять концентрацию различных естественных метаболитов в патологическом очаге либо нормальных анатомических структурах. Диффузионно-тензорная визуализация позволяет выявить микроструктурные изменения в веществе головного мозга, а перфузионная МРТ –

установить нарушения мозгового кровотока, которые невозможно визуализировать с помощью традиционных МР-методик [9].

В настоящее время остается открытым вопрос оценки функционирования различных участков корковых отделов анализаторов. Например, оценка функциональных возможностей зрительного анализатора с помощью объективных методик является важнейшей проблемой офтальмологии и нейроофтальмологии. Сложность организации зрительного анализатора послужила основанием для поиска методик, позволяющих адекватно оценивать зрительное восприятие и качество переработки полученной зрительной информации.

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) – одна из наиболее перспективных методик оценки зрительного анализатора, позволяющая одновременно получать данные о метаболизме, кровотоке и структурной характеристике мозга, причем её разрешающая возможность превосходит соответствующие показатели других методик нейровизуализации. Первые работы по применению фМРТ в исследовании головного мозга появились в 1992 г. [24, 25, 34]. фМРТ быстро стала стандартом для определения активности нейронов головного мозга у человека, поскольку является неинвазивной методикой, имеет надежную локализацию ответов и имеет пространственное разрешение выше по сравнению с более ранними развитыми методиками лучевой диагностики, такими как ПЭТ.

фМРТ рассматривается как способ изучения «функциональной архитектуры» мозга. В основе наиболее широко применяемой методики фМРТ-исследования лежит чувствительность импульсной последовательности градиентного эха к изменению оксигенации ткани мозга – эффект BOLD (blood oxygenation level dependent) [34]. При этой последовательности изменения магнитно-резонансного сигнала в одном и том же участке мозга при состояниях покоя и активации происходят благодаря отличиям парамагнитных свойств дезоксигемоглобина и оксигемоглобина. Считается, что при воздействии раздражителя степень повышения регионального кровотока превышает потребности ткани в кислороде, что приводит к локальной гипероксемии и, следовательно, к снижению концентрации дезоксигемоглобина. Вследствие уменьшения степени локальной неомогенности магнитного поля происходит повышение магнитно-резонансного сигнала. Участки, изменяющие интенсивность сигнала в соответствии с формой и продолжительностью раздражителя, выявляются с помощью специальной статистической обработки, выделяются в виде карт активации и совмещаются с анатомическими изображениями головного мозга. Незначительно уступая по информативности ПЭТ, фМРТ в то же время лишена такого ее недостатка, как радиационное воздействие на организм пациента.

фМРТ является неинвазивной, доступной, чувствительной методикой, что предполагает её потенциальное применение для решения клинических задач. Корреляция нейрофизиологических психофизических

дефектов с определением анатомической локализации образований указывает на значительную сегрегацию функций в зрительной коре человека, и различные основные или более высокие зрительные нарушения могут быть следствием данного поражения. Различные зрительные нарушения, развивающиеся в результате наличия очаговых образований в клинических случаях позволили определить то, что зрительная система человека делится на дорсальный и вентральный зрительные пути [3]. Специфические синдромы, такие как агнозия зрительного объекта, прозопагнозия и ахроматопсия являются следствием поражения затылочно-височной зоны, в то время как другие синдромы – зрительная атаксия, зрительное игнорирование, структурная апраксия, акинотопсия и нарушения пространственного распознавания – являются следствием поражения затылочно-теменной зоны.

Выполнение фМРТ при различных патологических состояниях, позволяет не только оценить организацию и функциональную специализацию зрительной коры головного мозга, но и сделать выводы о взаимосвязи между зонами зрительной коры и специфическими когнитивными функциями. Тем не менее, фМРТ пока не позволяет определять кортикальные механизмы на уровне отдельных нейронов. На сегодняшний день сравнительные исследования, проводимые на здоровых добровольцах и пациентах с патологическими изменениями, помогают судить о функциональной организации коры головного мозга.

В 1996 г. A. Miki et al. [32] использовали фМРТ для объективного исследования поля зрения и указали, что данная методика может быть полезна для подтверждения клинического диагноза заболевания, поскольку позволяет объективно оценить поле зрения и выявить даже небольшие скотомы. В дальнейшем исследованиями многих авторов была показана диагностическая значимость данной методики для объективной оценки поля зрения [20, 21, 26, 35, 39].

Имеется ряд работ [2, 9], в которых данная методика применялась в целях объективного определения остроты зрения, а также в экспертной практике. Тем не менее, разработанные методики могут быть использованы лишь как дополнительные контрольные при объективном определении остроты зрения. При сравнении данных поля зрения, полученных с помощью фМРТ и статической автоматической периметрии, наблюдается высокая корреляция полученных данных [22].

фМРТ зрительного анализатора рекомендуется проводить следующим образом. Для начала используется стандартный протокол обследования головного мозга с получением ориентировочных срезов головного мозга в сагиттальной, аксиальной и коронарной плоскостях. Данные изображения в дальнейшем используются для выполнения срезов в других плоскостях. Для лучшего сопоставления данных, полученных с помощью различных импульсных последовательностей в аксиальной плоскости, применяются импульсные последовательности с одним и тем же полем обзора, одинаковой матрицей, оди-

наковой толщиной среза, межсрезовым расстоянием и, соответственно, с одинаковым размером вокселя. Угол наклона срезов и их центры совпадают, чтобы добиться визуализации одного и того же вокселя. Угол наклона выбирают стандартно, для того чтобы добиться максимально возможного соответствия данных традиционной МРТ и фМРТ [9, 24, 33].

фМРТ выполняется с использованием методики, зависящей от уровня оксигенации крови. Одновременно с фМРТ-сканированием испытуемому предъявляется стимульный материал, содержание которого зависит от конкретного исследования. Для оценки остроты зрения с помощью фМРТ в качестве зрительных стимулов используются изображения, составленные из элементов Габора различной ориентации, образующие матрицы 8×8. Элемент Габора – синусоида, затухающая по закону Гаусса – соответствует рецептивным полям первичных клеток зрительной коры человека и животных [13, 14, 33].

Для достижения активации осуществляют одновременную смену ориентации всех элементов, приводящую к замене одной матрицы на другую, что воспринимается испытуемым, как вращение элементов. Испытуемому поочередно предъявляются различные изображения: в покое – неподвижные матрицы, в период активации – матрицы с меняющимися по ориентации (вращающимися) элементами Габора. Для того, чтобы выявить статистические различия между периодами покоя и активации, вышеописанный цикл «покой-активация» повторяется 6 раз. Длительность всего сканирования составляет в таком случае примерно 6 мин и позволяет накопить по 60 периодов покоя и активации, которые в дальнейшем используются для статистической обработки.

В оценке полей зрения в качестве зрительной стимуляции используется стимул, представляющий собой систему из шахматных паттернов 2×2 ячейки, расположенных по концентрическим окружностям вокруг точки фиксации, размер ячеек изменяется от центра к периферии пропорционально кортикальному фактору магнификации. Данное изображение напоминающее доску для игры в «дартс», состоит из четырех движущихся попеременно секторов. Исследование проводится монокулярно, второй глаз испытуемого закрыт повязкой. В период покоя испытуемому предъявляется «неподвижная картинка». Стимуляция осуществляется путем реверсирования (обращения контраста) шахматных паттернов с определенной частотой – 8 Гц (наиболее оптимальная для головного мозга). Активация секторов осуществляется по часовой стрелке – для правого глаза: нижнелатеральный квадрант, нижнемедиальный квадрант, верхнемедиальный квадрант, верхнелатеральный квадрант, для левого глаза: нижнемедиальный квадрант, нижнелатеральный квадрант, верхнелатеральный квадрант, верхнемедиальный квадрант. Продолжительность активации каждого сектора составляла 20 с. Во время проведения исследования задача испытуемого – фиксировать взгляд в центре экрана (точке фиксации) [9, 38].

В ходе последующей обработки из перестроенных, нормализованных и сглаженных изображений строятся статистические t-карты, характеризующие активации в ответ на предъявление соответствующего стимульного материала. В конечном итоге исследования посредством применения фМРТ визуализируются участки коры головного мозга в области шпорной борозды затылочной доли, ответственные за конечное восприятие изображения зрительным центром. В зависимости от наличия или отсутствия активированных участков зрительной коры выносится заключение о функциональном состоянии зрительного анализатора.

Таким образом, фМРТ является объективной, высокоэффективной и неинвазивной методикой современной нейровизуализации и может использоваться в клинической офтальмологической практике.

Литература

1. Коскин, С.А. Визоконтрастометрия в клинической практике: учеб.-метод. пособие / С.А. Коскин. – СПб.: ВМА, 2001. – 26 с.
2. Коскин, С.А. Современные объективные методы визометрии в целях врачебной экспертизы / С.А. Коскин [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2007. – № 4 (20). – С. 53–60.
3. Муравьева, С.В. Пространственно-частотные каналы зрительной системы при рассеянном склерозе / С.В. Муравьева [и др.] // Сенсорные системы. – 2013. – Т. 27. № 2. – С. 130–143.
4. Одинак, М.М. функциональная магнитно-резонансная томография как метод оценки состояния когнитивных функций / М.М. Одинак [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2011. – Т. 4. – С. 7–13.
5. Одинак, М.М. Современные возможности нейровизуализации в диагностике деменций / М.М. Одинак [и др.] // Психиатрия. – 2009. – № 1 (37). – С. 57–61.
6. Пьянков, В.З. Гемо и гидродинамика глаза, и функциональная активность зрительно нервного аппарата при острой ЗЧМТ: автореф. дис. канд. мед. наук / В.З. Пьянков. – М., 1979. – 20 с.
7. Стоянова, Г.С. Сравнительная характеристика кинетической и статической периметрии в стационарной и амбулаторной практике у больных глаукомой / Г.С. Стоянова, Е.А. Егоров, А.С. Гуров // Клини. офтальмол. – 2002. – Т. 3, № 4. – С. 65–67.
8. Труфанов, Г.Е. Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография в онкологии / Г.Е. Труфанов [и др.]. – СПб.: «Элби-СПб», 2005. – 124 с.
9. Фокин, В.А. Локализация областей коры головного мозга человека, активируемых при восприятии упорядоченных и хаотичных изображений / В.А. Фокин // Росс. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2007. – Т. 93. – № 10. – С. 1089–1100.
10. Шамшинова, А.М. Новый метод исследования контрастной чувствительности в клинике глазных болезней / А.М. Шамшинова [и др.] // Вестн. офтальмологии. – 1997. – Т. 113. – № 1. – С. 22–24.
11. Шамшинова, А.М. Функциональные методы исследования в офтальмологии / А. М. Шамшинова, В.В. Волков. – М., Медицина, 1998. – 416 с.
12. Шелепин, Ю.Е. Локализация центра принятия решений при восприятии формы зрительных стимулов / Ю.Е. Шелепин [и др.] // Доклады Академии наук. – 2009. – Т. 429. – № 6. – С. 835–837.
13. Шелепин, Ю.Е. Локализация методами нейроионики механизмов принятия решений об упорядоченности текстур / Ю.Е. Шелепин, В.А. Фокин, А.К. Хараузов // Оптический журнал. – 2011. – Т. 78. – № 12. – С. 57.

14. Шпак, А.А. Исследования зрительных вызванных потенциалов в офтальмологии и офтальмохирургии / А.А. Шпак. – М., 1993. – 191 с.
15. Arters, P.H. Properties of perimetric threshold estimates from full-threshold, SITA standart, and SITA fast strategies / P.H. Arters [et al.] // Invest. ophthalmol. vis. sci. – 2002. – Vol. 43. – P. 2654–2659.
16. Beckett, A. Contribution of large scale biases in decoding of direction-of-motion from high-resolution fMRI data in human early visual cortex / A. Beckett [et al.] // Neuroimage. – 2012. – Vol. 63, № 3. – P. 1623–1632.
17. Bengtsson, B. SITA Fast, a new rapid perimetric threshold test: description of methods and evaluation in patients with manifest and suspect glaucoma / B. Bengtsson, A. Heijl // Acta ophthalmol. Scand. – 1998. – Vol. 76. – P. 431–437.
18. Bosley, T.M. Neuro-imaging and positron emission tomography of congenital homonymous hemianopsia / T.M. Bosley [et al.] // J. ophthalmol. vis. sci. – 1991. – Vol. 111. – P. 413–418.
19. Contestabile, M.T. The influence of learning effect on frequency doubling technology perimetry (Matrix) / M.T. Contestabile [et al.] // J. glaucoma. – 2007. – Vol. 16. – P. 297–301.
20. Crawford, M.L. Experimental glaucoma in primates: changes in cytochrome oxidase blobs in V1 / M.L. Crawford [et al.] // Invest. ophthalmol. vis. sci. – 2000. – Vol. 42. – P. 358–364.
21. Crawford, M.L. Glaucoma in primates: cytochrome oxidase reactivity in parvo- and magnocellular pathways / M.L. Crawford [et al.] // Invest. ophthalmol. vis. sci. – 2000. – Vol. 41. – P. 1791–1802.
22. Duncan, R.O. Retinotopic Organization of Primary Visual Cortex in Glaucoma: Comparing Cortical Function with Visual Field Loss / R.O. Duncan [et al.] // Prog. retin. eye res. – 2007. – Vol. 26. – P. 38–56.
23. Endo, S. Mapping visual field with positron emission tomography by mathematical modelling of the retinotopic organization in the calcarine cortex / S. Endo [et al.] // I.E.E.E. transactions of medical imaging. – 1997. – Vol. 16. – P. 252–260.
24. Fadzi, F. MRI of optic tract lesions: review and correlation with visual field defects / F. Fadzi, N. Ramli, N.M. Ramli // Clin radiol. – 2013. – Vol. 68, № 10. – P. 538–551.
25. Frahm, J. Dynamic MRI of human brain oxygenation during rest and photic stimulation / J. Frahm [et al.] // J. magn. reson. imaging. – 1992. – Vol. 2. – P. 501–505.
26. Gupta, A. Imaging in psychiatric illnesses / A. Gupta, M. Elheis, K. Pansari // Int. j. clin. pract. – 2004. – Vol. 58, № 9. – P. 850–858.
27. Heijl, A. Studies on computerized perimetry / A. Heijl // Acta. ophthalmol. suppl. (Copenh). – 1977. – Vol. 132, №. 1. – P. 1–42.
28. Heijl, A. The effect of perimetric experience in patients with glaucoma / A. Heijl, B. Bengtsson // Arch. ophthalmol. – 1996. – Vol. 114. – P. 19–22.
29. Kiyosawa, M. Positron emission tomography to study the effect of eye closure and optic nerve damage on human cerebral glucose metabolism / M. Kiyosawa [et al.] // Am. j. ophthalmol. – 1989. – Vol. 108. – P. 147–152.
30. Kwon, Y.H. Test-retest variability of blue-on-yellow perimetry is greater than white-on-white perimetry in normal subjects / Y.H. Kwon [et al.] // Am. j. ophthalmol. – 1998. – Vol. 126. – P. 29–36.
31. Marra, G. The learning and fatigue effect in automated perimetry / G. Marra, J. Flammer // Graefes arch. clin. exp. ophthalmol. – 1991. – Vol. 229. – P. 501–504.
32. Miki, A. Functional Magnetic Resonance imaging in homonymous hemianopia / A. Miki [et al.] // Am. j. ophthalmol. – 1996 – Vol. 121. – P. 258–266.
33. Ogawa, S. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation / S. Ogawa [et al.] // P. natl. acad. sci. USA. – 1990. – Vol. 87. – P. 9868–9872.
34. Ogawa, S. Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging / S. Ogawa [et al.] // P. natl. acad. sci. USA. – 1992. – Vol. 89. – P. 5951–5955.
35. Vickers, J.C. Magnocellular and parvocellular visual pathways are both affected in a macaque monkey model of glaucoma / J.C. Vickers [et al.] // Aust. N. Z. j. ophthalmol. – 1997. – Vol. 25. – P. 239–243.
36. Wall, M. Repeatability of automated perimetry: a comparison between standard automated perimetry with stimulus size iii and v, matrix, and motion perimetry / M. Wall [et al.] // Invest. ophthalmol. vis. sci. – 2009. – Vol. 50. – P. 974–979.
37. Wild, J.M. Long-term follow-up of baseline learning and fatigue effects in the automated perimetry of glaucoma and ocular hypertensive patients / J.M. Wild [et al.] // Acta. ophthalmol. – 1991. – Vol. 69. – P. 210–216.
38. Wu, J. Development of a method to present wide-view visual stimuli in MRI for peripheral visual studies / J. Wu [et al.] // J. neurosci methods. – 2013. – Vol. 214, № 2. – P. 126–136.
39. Yucel, Y.H. Effects of retinal ganglion cell loss on magno-, parvo-, koniocellular pathways in the lateral geniculate nucleus and visual cortex in glaucoma / Y.H. Yucel [et al.] // Prog. retin. eye res. – 2003. – Vol. 22. – P. 465–481.

S.V. Menshikova, G.E. Trufanov, V.A. Fokin, S.A. Koskin, A.F. Sobolev

Functional state of visual analyzer: current understanding of methods of its evaluation and application of functional magnetic resonance imaging

Abstract. Assessment of visual analyzer functional state is important for practical medicine. During examination of visual acuity and visual fields a lot of significant difficulties may occur. Methods and modalities used for conventional assessment are subjective and based on patient's answers which do not always reflect the real condition of visual analyzer.

In this article the modern conceptions of objective assessment of visual analyzer functional state using functional magnetic resonance imaging are regarded. It was found that the performance of functional magnetic resonance imaging in various pathological conditions, allows not only to assess the organization and functional specialization of the visual cortex of the brain, but also to draw conclusions about the relationship between the areas of the visual cortex and specific cognitive functions. However, functional magnetic resonance imaging does not allow determining the cortical mechanisms at the level of individual neurons. Now comparative studies conducted in healthy volunteers and patients with pathological changes help to judge the functional organization of the cerebral cortex.

In general, functional magnetic resonance imaging is an objective, safe and non-invasive method of modern neurovisualization and it can be successfully used in clinical ophthalmology.

Key words: visual analyzer, functional magnetic resonance imaging, visual fields, visual acuity, neurovisualization, visual cortex activation, visual stimuli.

Контактный телефон: 8 (812) 292-33-47; e-mail: rentgenvma@mail.ru