

УДК 812.2

КЛИНИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОТДЕЛОВ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

© 2024 г. Н. К. Серова

*Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко
Министерства здравоохранения Российской Федерации
125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16, Россия*

E-mail: nserova@nsi.ru

Поступила в редакцию 09.01.2024 г.

После доработки 12.01.2024 г.

Принята к публикации 15.01.2024 г.

Статья представляет собой обзор литературы, посвященный структуре и функции центральных отделов зрительной системы, начиная от переднего зрительного пути: зрительных нервов, хиазмы, зрительных трактов, наружного коленчатого тела, и далее — зрительной лучистости и зрительной коры, в преломлении клинических проявлений поражения этих образований. Представлены синдромы поражения центральных отделов зрительной системы в зависимости от уровня ее поражения. Приводятся доказательства возможного развития приобретенной нисходящей (ретроградной) транссинаптической дегенерации зрительного волокна по данным оптической когерентной томографии. Показано, что владение знанием анатомии, функции центральных отделов зрительной системы позволяет не только определить топик патологического процесса в головном мозге, но и оценить результаты хирургического и лучевого лечения пациентов.

Ключевые слова: зрительная система, синдром, поражение

DOI: 10.31857/S0235009224020027 **EDN:** CUXUJA

Физиология зрительной системы — понятие широкое. Это непосредственно зрительный путь: сетчатка — первичная зрительная кора. К зрительной системе также относят и ассоциативные, экстрастриарные зоны. Имеют значение в обработке зрительной информации и лежащие глубже структуры, ответственные за отслеживание передвижений предметов, движения глаз и т.п.

Сетчатка, в частности ее ганглиозные клетки (ГКС), принимают первыми зрительный импульс. Далее информация передается по зрительной системе, интерпретация которой является очень сложным процессом. Последовательная обработка является лишь одним из нескольких механизмов, используемых мозгом для обработки зрительных сигналов. Имеются множественные точки взаимодействия между специализированными областями мозга (Rizzo, 2005).

Пройдя путь от фоторецепторов до ГКС, зрительный импульс передается на аксоны ганглиозных клеток, которые в дальнейшем, покинув сетчатку, собираются в зрительные пучки, образуя структуры переднего зрительного пути (ПЗП): зрительные нервы, хиазму (перекрест), зрительные тракты. Важно знать, что, начиная с хиазмы, представительство в структурах ПЗП

имеется от обоих глаз. Различные типы ГКС специализируются на передаче различных типов физических сигналов и дают начало различным каналам от сетчатки до коры, например парвацеллюлярному и магноцеллюлярному пути. Между каналами существует перекрестная связь на нескольких уровнях от сетчатки до зрительной коры (Rizzo, 2005).

К ПЗП относится и наружное коленчатое тело (НКТ) — образование с довольно сложной структурой. Его основной функцией является доставка информации от сетчатки к зрительной коре. Однако в нем происходит не просто передача импульса с одного синапса на другой, импульса, идущего по аксонам ганглиозных клеток сетчатки, на ганглиозные клетки НКТ, а далее по их аксонам в зрительную кору. Л. Кляйн (Kline, 1998) обращает внимание на то, что НКТ не пассивно выполняет работу “передаточного пункта”, а является “активным динамическим участником” в акте зрения. В функцию НКТ входит обработка информации о цвете, форме, контрастности изображения, движении объекта, полученной от афферентных волокон. Оно обладает рецептивными бинокулярными полями и влияет на активность зрительной коры (Вит, 2003). Это

осуществляется благодаря наличию различных по своей функции клеток в различных слоях НКТ, которых насчитывают до шести. Каждый слой имеет определенное представительство сетчатки. Волокна папилло-макулярного пучка представлены во всех шести слоях НКТ. Помимо этого, имеется связь НКТ с структурами среднего мозга, а именно с верхними бугорками четверохолмием (Livingston, Mustari, 2000; Rizzo, 2005). В свою очередь по эфферентным волокнам идет информация из зрительной коры, которая также подвергается обработке в НКТ. Подтверждением тому является обнаружение атрофии нейронов НКТ при повреждении коры. Более того, в настоящее время доказана возможность приобретенной нисходящей транссинаптической атрофии зрительного волокна, что ранее отвергалось.

С постсинаптических аксонов ганглиозных клеток НКТ, располагающихся в верхне-задней части НКТ, начинается зрительная лучистость, которая носит также название геникулокалькаринного тракта, соединяющего НКТ и первичную зрительную кору — V1 (поле 17 по Brodmann) в полюсе затылочной доли, и которая передает информацию в зрительную кору (Wall, 1998). Аксоны геникулокалькаринного тракта имеют представительство в трех долях головного мозга: височной, теменной и затылочной.

Зрительная кора получает, интегрирует и обрабатывает визуальную информацию, подразделяется на первичную зрительную/стриарную кору (striate cortex) (V1) (поле 17 по Brodmann) и вторичную зрительную кору, или ассоциативную зону (V2), которая прилегает к первичной коре.

Как известно, цитоархитектоника первичной коры содержит шесть функционально отличающихся друг от друга горизонтальных слоев, наиболее значимым из которых является четвертый, поскольку к нему подходит наибольшее количество афферентных волокон, идущих от НКТ (Pasupathy, Connor, 2001; Rizzo, 2005).

Важно отметить, что зрительная кора занимает около 3,5% всей площади коры головного мозга (Rizzo, 2005). Большая часть первичной зрительной коры представляет собой центральную часть поля зрения. Центральные 10 град. поля зрения представлены на 50–60% стритарной коры, а центральных 30 град. поля зрения представительство достигает 80%. Макулярная область представлена в полюсе зрительной коры. В зрительной коре площадь представительства центральной ямки сетчатки почти в 1 000 раз больше, чем в сетчатке. Это следует учитывать при оценке результатов зрительных вызванных потенциалов (ЗВП),

которые в большей степени отражают активность макулярной области (Вит, 2003; Horton, Hoyt, 1991; McFadzean et al., 1994).

В первичной зрительной коре осуществляется дифференцированный анализ наиболее сложных зрительных сигналов (цвет, контуры, очертания, форма объекта и другие) (Pasupathy, Connor, 2001; Rizzo, 2005). Д. Хьюбел (Хьюбел, 1990), характеризуя стритарную кору, отмечает, что в ней находится большое разнообразие функциональных типов клеток, которые отвечают на более сложные стимулы.

Полученная зрительная информация поступает и обрабатывается не только по вертикали из слоя в слой по всей толщине первичной зрительной коры, но и по горизонтали — на множественные ассоциативные зоны, главными из них являются 18-е и 19-е поля по Brodmann — вторичная и третичная зрительная кора (V2, V3) (Ebeling, Reulen, 1988; Rizzo, 2005).

Первичная зрительная кора имеет прямую и обратную связь с ассоциативной зоной — вторичной зрительной корой V2. Роль вторичной зрительной коры, а также других ассоциативных зон — осуществлять более сложную оценку зрительных образов.

Вопрос о роли первичной зрительной коры непосредственно в осознанном зрительном восприятии остается спорным. Было показано, что зрительное восприятие больше коррелирует с нейрогенной активностью в экстрастриарных зонах, которые имеют решающее значение для осознания видимого образа, и на уровне вторичной и третичной коры проходит наиболее сложный интегративный процесс, тогда как при повреждении V1 просто нарушается поток информации в экстрастриарные зоны.

Однако существует и другое мнение. В зоне V1 были получены столь же мощные ответы и показано, что активность первичной зрительной коры человека также играет деятельную роль в мультисенсорных процессах и напрямую влияет на поведенческую реакцию. Для доказательства изложенного авторы привлекли различные методы исследования (фМРТ, ПЭТ, ЭЭГ и др.) (Tong, 2003; Murray, et al., 2016).

Интересным, на наш взгляд, сообщением, в большей степени касающимся нейropsychологии, является то, что зрительное внимание выбирает лишь небольшую часть входящей зрительной информации для дальнейшей обработки. Выбор начинается с первичной зрительной коры V1, которая способствует установке центральной ямки на местоположение объекта посредством смещения взгляда (Zhaoping, 2019).

В дальнейшем речь пойдет непосредственно о зрительной системе: структуры ПЗП — первичная зрительная кора — и клинических проявлениях поражения.

Симптомы поражения зрительной системы, начиная от структур ПЗП до зрительной коры, определяются уровнем поражения и имеют особое значение в топической диагностике заболеваний головного мозга (Серова, 2011). Они проявляются нарушением зрительных функций и развитием атрофии (восходящей и нисходящей) зрительных волокон. Атрофия волокон возникает в результате процесса любой этиологии: воспалительной, дегенеративной, компрессионной или травматической, нарушения кровоснабжения и др. Нисходящая (ретроградная) атрофия зрительного волокна структур ПЗП достигает ГКС. Сроки развития офтальмоскопических изменений в виде побледнения диска зрительного нерва зависят от уровня повреждения ПЗП. Чем дальше от глазного яблока располагается очаг повреждения, тем позднее выявляются изменения на глазном дне в виде атрофии диска зрительного нерва. Так, при поражении зрительного нерва изменения появляются значительно раньше, чем при поражении зрительных волокон на уровне хиазмы, зрительного тракта (Серова, 2011). С этим не все согласны, однако наш клинический опыт свидетельствует в пользу этого. Подтверждением служат и результаты, полученные с использованием неинвазивной методики оптической когерентной томографии (ОКТ), дающей возможность прижизненно изучить комплекс ГКС, оценить морфометрические показатели сетчатки. В центре нейрохирургии им акад. Н.Н. Бурденко подобные исследования были начаты в 2015 г. Исследования, проведенные Н.М. Елисеевой с коллегами (Елисеева и др., 2020), показали, что минимальный срок изменений на ОКТ в виде истончения комплекса ГКС при поражении зрительного нерва составил две-три недели. Также было показано, что локализация преимущественного патологического истончения комплекса ГКС при поражении зрительных нервов и хиазмы соответствовали топографии поражения зрительных волокон, выявленных при исследовании поля зрения: при нарушении центрального зрения отмечено выраженное истончение всего комплекса ГКС в макулярной области сетчатки, при повреждении хиазмы — преимущественно в носовых ее половинах.

На сроки развития видимых изменений на глазном дне помимо уровня поражения влияет характер повреждающего фактора. Травма зрительных волокон, поражение их воспалительным процессом приводят к более быстрому появлению изменений, чем, например, компрессионное

воздействие объемным образованием, о чем свидетельствуют также результаты, полученные с помощью ОКТ (Елисеева, 2020; Jindahra, 2012).

Поражение зрительных волокон на уровне зрительного нерва приводит к зрительным расстройствам одного глаза. При поражении хиазмы, зрительных трактов, НКТ, геникулокалькаринного тракта, первичной зрительной коры в связи с представительством от двух глаз характер поля зрения носит гемианопический характер (битемпоральной или гомонимной гемианопсии).

При поражении геникулокалькаринного тракта процесс нисходящей (ретроградной) атрофии зрительных волокон доходит, как правило, до ганглиозных клеток НКТ и не отражается на глазном дне в виде атрофии зрительного нерва. Ранее предполагалось, что к транссинаптической нисходящей дегенерации волокон, проявляющейся на глазном дне, может привести редкое явление — внутриутробное поражение постгеникулятных структур (Мосин и др., 2007; Hoyt et al., 1972; Bajandas et al., 1976). С появлением методики ОКТ стало возможным продемонстрировать, что приобретенная транссинаптическая ретроградная дегенерация зрительных волокон также возможна. Одними из первых результатов, с помощью методики ОКТ подтвердивших возможность транссинаптической ретроградной дегенерации зрительного волокна, были исследования, представленные в работе (Jindahra et al., 2009). Транссинаптическая ретроградная дегенерация проявляется истончением комплекса ГКС. Признаки транссинаптической ретроградной дегенерации прослеживают при длительно существующей гомонимной гемианопсии, вызванной поражением постгеникулятных зрительных волокон (Jindahra et al., 2009; 2012; Keller et al., 2014; Meier et al., 2015).

В наших исследованиях анализу подверглись пациенты с поражением геникулокалькаринного тракта, в том числе после хирургического вмешательства по поводу височной эпилепсии. При многократном исследовании было показано, что минимальный срок зафиксированного патологического истончения комплекса ГКС составил три месяца, медиана равнялась семи месяцам. При этом именно комплекс ганглиозных клеток сетчатки наиболее точно отражает топографию поражения зрительных волокон геникулокалькаринного пути (Елисеева и др., 2017; 2021).

Избирательное поражение зрительной коры, которое в клинической практике встречается достаточно редко, приводит к образованию гомонимных конгруэнтных парацентральных скотом, что обусловлено значимым представительством центрального поля зрения в зрительной коре (см. ранее Horton, Hoyt, 1991; McFadzean et al., 1994).

К крайне редким явлениям относят развитие двусторонней гомонимной гемианопсии,

причиной которой бывает острое нарушение кровообращения в задних мозговых артериях и образование инфаркта в затылочных долях. Как было отмечено ранее, корковое представительство макулы достаточно велико, что может обеспечить сохранение центрального зрения (Rizzo, 20005).

Двустороннее поражение первичной зрительной коры приводит к развитию корковой слепоты, которая является одной из составляющих церебральной слепоты и приводит, как правило, к временной полной или до уровня светоощущения утрате зрения. Гипоксия и аноксия являются главным этиологическим фактором развития корковой слепоты (Rizzo, 2005).

Итак, большая часть зрительной системы располагается в полости черепа и помимо основания мозга она представлена, как было отмечено, в трех долях полушарий головного мозга.

Что дает клиницисту-нейрохирургу знание анатомии и физиологии зрительной системы? Ушло время, когда основной задачей нейрохирургии было повысить послеоперационную выживаемость. В настоящее время результаты оцениваются по тому, насколько ювелирно проведена операция и хирургу удалось сохранить те или иные жизненно важные функции мозга. Одной из задач нейрохирурга, помимо удаления очага поражения, является максимальное сохранение функции близлежащих структур, что, бесспорно, влияет на качество жизни пациентов. Безопасная хирургия опухолей в области функционально значимых зон головного мозга требует точного знания топографии. Именно этому и способствует знание анатомии и физиологии зрительной системы.

В современной нейрохирургии все активнее используется принцип “минимально достаточной” краниотомии *keyhole* при различных патологических процессах головного мозга, обеспечивающей практически отсутствие усугубления дооперационной симптоматики и хороший косметический эффект. В Центре нейрохирургии им. акад. Бурденко проведен анализ 42 пациентов, преимущественно детей, с большими и гигантскими опухолями хиазмально-селлярной области: краниофарингиомами, глиомами хиазмы, аденомами гипофиза, оперированных с использованием чрезбровного супраорбитального *keyhole*-доступа (Кушель и др., 2022). Авторы пришли к заключению, что *keyhole*-доступ – это концепция планирования операции. При выборе минимально достаточного доступа достигается хирургический результат, низкая послеоперационная морбидность (усугубление имеющейся до операции симптоматики), минимальная травматизация тканей, в частности структур

переднего зрительного пути: зрительных нервов, хиазмы, зрительных трактов.

Исследование зрительных функций, в частности поля зрения, позволяет определить не только топик процесса, это с успехом осуществляется в том числе и современными методами нейровизуализации, но и способствует оценке результатов хирургического, лучевого лечения. Выявление дефектов поля зрения, их динамика в послеоперационном периоде имеют значение для выработки тактики лечения, выбора хирургического доступа.

В Центре нейрохирургии проведена оценка нарушений поля зрения после операций по поводу височной эпилепсии. Авторам удалось проанализировать выраженность дефектов в зависимости от хирургического доступа. Наименее травматичной по отношению к зрительным волокнам оказалась амигдалогиппокампоэктомия субвисочным доступом. Было показано, что 70% пациентов, перенесших операцию по поводу височной эпилепсии, согласно требованиям к полю зрения, принятым как в РФ, так и в Европе, способны управлять транспортным средством (Елисеева и др., 2019).

В нейрохирургической практике широко применяется нейрофизиологический мониторинг как на дооперационном этапе, так и во время хирургического вмешательства. Примером тому может быть обнаружение очагов эпилептиформной активности у пациента перед операцией по поводу эпилепсии. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг способствует сохранению функционально значимых зон головного мозга. Использование зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) является одним из компонентов комплекса интраоперационного нейрофизиологического мониторинга. В научной литературе этот метод представлен лишь единичными работами (Kamada et al., 2005; Ota et al., 2010; Gutzwiller et al., 2018).

Сотрудниками Центра нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко проведено нейрофизиологическое мониторирование зрительной коры и идентифицировано представительство зрительной коры и геникулокалькаринного тракта с использованием ЗВП при удалении опухоли затылочной доли. Это позволило не только избежать усугубления гомонимной гемианопсии, что вполне оправдано при такой локализации процесса, но и несколько уменьшить границы дооперационного дефекта поля зрения (Маряшев и др., 2020).

Таким образом, знание физиологии зрительной системы имеет большое значение не только с научной, но и с практической точки зрения.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ВКЛАД АВТОРА

Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ИСМЖЕ. Н.К. Серова – разработка концепции и дизайна статьи, написание текста и редактирование, сбор и анализ источников литературы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вит В.В. Строение зрительной системы человека. Одесса: Астропринт, 2003. 655 с.
- Елисеева Н.М. Спектральная оптическая когерентная томография при поражении различных участков зрительного пути. *Материалы XX научно-практической нейроофтальмологической конференции*. М., 2020. С. 9–11.
- Елисеева Н.М., Пицхелаури Д.И., Серова Н.К. и др. Нарушение поля зрения после операций по поводу височной эпилепсии, обусловленной склерозом гиппокампа. *Вопросы нейрохирургии*. 2019. Т. 83. № 5. С. 14–20.
- Елисеева Н.М., Серова Н.К., Еричев В.П., Панюшкина Л.А. Структурные изменения сетчатки и зрительного нерва при поражении центрального нерва зрительного пути. *Вестник офтальмологии*. 2017. Т. 133. № 4. С. 25–30.
- Елисеева Н.М., Серова Н.К., Пицхелаури Д.И. *Вопросы нейрохирургии*. 2021. Т. 85. № 6. С. 92–96.
- Кушель Ю.В., Сафронова Е.И., Дёмин М.О. Актуальность keyhole-доступов в хирургии гигантских опухолей основания головного мозга. Теоретическое обоснование на примере резбровного супраорбитального доступа. *Вопросы нейрохирургии*. 2022. Т. 86. № 5. С. 46–55.
- Маряшев С.А., Огурцова А.А., Домбаанай Б.С. и др. Интраоперационная регистрация корковых зрительных вызванных потенциалов при удалении глиомы затылочной доли. Клиническое наблюдение и обзор литературы. *Вопросы нейрохирургии*. 2020. Т. 84. № 6. С. 93–99.
- Мосин И.М., Неудахина Е.А., Славинская Н.В. Гоминимная гемиянопическая гипоплазия зрительного нерва у детей. *Материалы IX научно-практической нейроофтальмологической конференции*. М., 2007. С. 54–65.
- Серова Н.К. Синдромы поражения зрительного анализатора: нейрохирургические аспекты. *Клиническая нейроофтальмология*. Под ред. Н.К. Серовой. Тверь, 2011. 343 с.
- Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. М.: МИР, 1990. 239 с.
- Bajandas F.J., McBeath J.B., Smith J.L. Congenital homonymous hemianopia. *Am. J. Ophthalmol.* 1976. V. 82. № 3. P. 498–500. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(76\)90502-x](https://doi.org/10.1016/0002-9394(76)90502-x)
- Ebeling U., Reulen H. Neurosurgical topography of the optic radiation in the tempo-ral lobe. *Acta Neurochir.* 1988. V. 92. № 1-4. P. 29–36. <https://doi.org/10.1007/BF01401969>
- Gutzwiller E., Cabrilo I., Radovanovich I. Intraoperative monitoring with visual evoked potentials for brain surgeries. *J. Neurosurg.* 2018. V. 130. № 2. P. 654–660. <https://doi.org/10.3171/2017.8.JNS171168>
- Horton J.C., Hoyt W.F. The representation of the visual field in human striate cortex. A revision of the classic Holmes map. *Arch Ophthalmol.* 1991. V. 109. № 6. P. 816–824. <https://doi.org/10.1001/archophth.1991.01080060080030>
- Hoyt W., Rios-Montenegro E., Behrens M. Homonymous hemioptic hypoplasia: Fundoscopic features in standard and red-free illumination in three patients with congenital hemiplegia. *Br. J. Ophthalmol.* 1972. V. 56. № 7. P. 537–545. <https://doi.org/10.1136/bjo.56.7.537>
- Jindahra P., Petrie A., Plant G. The time course of retrograde trans-synaptic degeneration following occipital lobe damage in humans. *Brain.* 2012. V. 135. № 2. P. 534–541. <https://doi.org/10.1093/brain/awr324>
- Jindahra P., Petrie A., Plant G. Retrograde trans-synaptic retinal ganglion cell loss identified by optical coherence tomography. *Brain.* 2009. V. 132. № 3. P. 628–634. <https://doi.org/10.1093/brain/awp001>
- Kamada K., Todo T., Morita A. Functional monitoring for visual pathway using real-time visual evoked potentials and optic-radiation tractography. *Neurosurgery.* 2005. V. 57. № 1. P. 121–127. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000163526.60240.b6>
- Keller J., Sánchez-Dalmau B.F., Villoslada P. Lesions in the posterior visual pathway promote trans-synaptic degeneration of retinal ganglion cells. *PLoS One.* 2014. V. 9. № 5. P. e97444. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097444>
- Kline L.B. Anatomy and physiology of the optic tracts and lateral geniculate nucleus. In: *Walsh & Hoyt Neuroophthalmology*. Eds 5 by N. Miller, N. Newman. The Williams&Wilkins Baltimore. 1998. V. 1. № 5. P. 101–120.
- Livingston C.A., Mustari M.J. The anatomical organization of the macaque pregeniculate complex. *Brain Res.* 2000. V. 876. № 1-2. P. 166–179. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(00\)02647-0](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(00)02647-0)

- McFadzean R., Brosnahan D., Hadley D., Mutlukan E. Representation of the visual field in the occipital striate cortex. *Br. J. Ophthalmol.* 1994. V. 78. № 3. P. 185–190. <https://doi.org/10.1136/bjo.78.3.185>
- Meier P.G., Maeder P., Kardon R.H., Borruat F. Homonymous ganglion cell layer thinning after isolated occipital lesion: macular OCT demonstrates transsynaptic retrograde retinal degeneration. *J. Neuro-Ophthalmol.* 2015. V. 35. № 2. P. 112–116. <https://doi.org/10.1097/WNO.0000000000000182>
- Murray M.M., Thelen A., Thut G. The multisensory function of the human primary visual cortex. *Neuropsychologia.* 2016. V. 83. P. 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.08.011>
- Ota T., Kawai K., Kamada J. Intraoperative monitoring of cortically recorded visual response for posterior visual pathway. *J. Neurosurg.* 2010. V. 112. № 2. P. 285–294. <https://doi.org/10.3171/2009.6.JNS081272>
- Pasupathy A., Connor C.E. Shape representation in area V4: position-specific tuning for boundary conformation. *J. Neurophys Sci.* 2001. V. 86. № 5. P. 2505–2519. <https://doi.org/10.1152/jn.2001.86.5.2505>
- Rizzo J.F. Embryology, Anatomy, and Physiology of the Afferent Visual Pathway. In: *Walsh & Hoyt's Clinical Neuro-Ophthalmology*. 6th ed. by N. Miller, N. Newman. Lippincott Williams & Wilkins Copyright. 2005. V.I. Sec. I. P. 4–82.
- Tong F. Primary visual cortex and visual awareness. *Nat Rev Neurosci.* 2003. V. 4. № 3. P. 219–229. <https://doi.org/10.1038/nrn1055>
- Wall M. Optic radiations and occipital cortex. In: *Walsh & Hoyt Neuroophthalmolog.* Ed. 5 by N. Miller, N. Newman. Williams & Wilkins Baltimore. 1998. V. 1. № 6. P. 121–151.
- Zhaoping Li. A new framework for understanding vision from the perspective of the primary visual cortex. *Curr Opin Neurobiol.* 2019. V. 58. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2019.06.001>

Clinical physiology of the central parts of the visual system

N. K. Serova

N.N. Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation
125047, Moscow, Tverskaya-Yamskaya, 16, Russia

E-mail: nserova@nsi.ru

The article is a review of literature related to anatomy and function of the central visual pathways from the optic nerves, chiasm, optic tracts, lateral genicular body to the higher cortical centers. The focus is on the presenting clinical syndromes and subsequent lesion localization.

In this review the evidence for retrograde trans-synaptic degeneration following acquired post-geniculate human visual pathway damage are discussed and proved by optical coherence tomography data. It has been shown that knowledge of the anatomy and functions of the central parts of the visual system allows to determine both the topic of the pathological process in the brain, and to evaluate the results of surgical and radiation treatment.

Keywords: visual system, defeat, syndrome

REFERENCES

- Bajandas F.J., McBeath J.B., Smith J.L. Congenital homonymous hemianopia. *Am. J. Ophthalmol.* 1976. V. 82(3). P. 498–500. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(76\)90502-x](https://doi.org/10.1016/0002-9394(76)90502-x)
- Ebeling U., Reulen H. Neurosurgical topography of the optic radiation in the temporal lobe. *Acta Neurochir.* 1988. V. 92 (1-4). P. 29–36. <https://doi.org/10.1007/BF01401969>
- Eliseeva N.M. *Spektral'nay opticheskay kogerentnay tomografi pri porazhenii razlichnykh uchastkov zritel'nogo puti* [Spectral optical coherence tomography in lesions of various parts of the visual pathway]. *Materialy XX nauchno-prakticheskoy nejrooftal'mologicheskoy konferencii.* Moscow. 2020. P. 9–11 (in Russia).
- Eliseeva N.M., Pitskhelauri D.I., Serova N.K. *Naruschenie poly zreniy posle operachii po povodu visochnoi epilepsii, obuslovlennoi sklerozom gippokampa.* [Disturbance of the visual field after surgery for temporal lobe epilepsy due to hippocampal sclerosis]. *Voprosy Neurokhirurgii* [Neurosurgery issues]. 2019. V. 83(5). P. 14–20 (in Russia).
- Eliseeva N.M., Serova N.K., Elichev V.P., Panyushkina L.A. *Strukturnue izmeneniy setchatki i zritel'nogo nerva pri porazhenii central'nogo nevrone zritel'nogo puti* [Structural changes in the retina and optic nerve in lesions of the central neuron of the optic pathway]. *Vestnik ophthalmologii* [Bulletin of Ophthalmology]. 2017. V. 133(4). P. 25–30 (in Russia).
- Eliseeva N.M., Serova N.K., Pitskhelauri D.I. Retrograde degeneration of the optic pathway. *Voprosy Neurokhirurgii.* 2021. V. 85(6). P. 92–96 (in Russia).
- Gutzwiller E., Cabrilo I., Radovanovich I. Intraoperative monitoring with visual evoked potentials for brain surgeries. *J. Neurosurg.* 2018. V. 130(2). P. 654–660. <https://doi.org/10.3171/2017.8.JNS171168>

- Horton J.C., Hoyt W.F. The representation of the visual field in human striate cortex. A revision of the classic Holmes map. *Arch Ophthalmol.* 1991. V. 109(6). P. 816–824. <https://doi.org/10.1001/archophth.1991.01080060080030>
- Hoyt W., Rios-Montenegro E., Behrens M. Homonymous hemioptic hypoplasia: Fundoscopic features in standard and red-free illumination in three patients with congenital hemiplegia. *Br. J. Ophthalmol.* 1972. V. 56(7). P. 537–545. <https://doi.org/10.1136/bjo.56.7.537>
- Hubel D. *Eye, brain and vision*. Moscow: MIR, 1990. 239 p. (in Russia).
- Bajandas F.J., McBeath J.B., Smith J.L. Congenital homonymous hemianopia. *Am. J. Ophthalmol.* 1976. V. 82. № 3. P. 498–500. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(76\)90502-x](https://doi.org/10.1016/0002-9394(76)90502-x)
- Ebeling U., Reulen H. Neurosurgical topography of the optic radiation in the tempo-ral lobe. *Acta Neurochir.* 1988. V. 92. № 1-4. P. 29–36. <https://doi.org/10.1007/BF01401969>
- Gutzwiller E., Cabrilo I., Radovanovich I. Intraoperative monitoring with visual evoked potentials for brain surgeries. *J. Neurosurg.* 2018. V. 130. № 2. P. 654–660. <https://doi.org/10.3171/2017.8.JNS171168>
- Horton J.C., Hoyt W.F. The representation of the visual field in human striate cortex. A revision of the classic Holmes map. *Arch Ophthalmol.* 1991. V. 109. № 6. P. 816–824. <https://doi.org/10.1001/archophth.1991.01080060080030>
- Hoyt W., Rios-Montenegro E., Behrens M. Homonymous hemioptic hypoplasia: Fundoscopic features in standard and red-free illumination in three patients with congenital hemiplegia. *Br. J. Ophthalmol.* 1972. V. 56. № 7. P. 537–545. <https://doi.org/10.1136/bjo.56.7.537>
- Jindahra P., Petrie A., Plant G. The time course of retrograde trans-synaptic degeneration following occipital lobe damage in humans. *Brain.* 2012. V. 135. № 2. P. 534–541. <https://doi.org/10.1093/brain/awr324>
- Jindahra P., Petrie A., Plant G. Retrograde trans-synaptic retinal ganglion cell loss identified by optical coherence tomography. *Brain.* 2009. V. 132. № 3. P. 628–634. <https://doi.org/10.1093/brain/awp001>
- Kamada K., Todo T., Morita A. Functional monitoring for visual pathway using real-time visual evoked potentials and optic-radiation tractography. *Neurosurgery.* 2005. V. 57. № 1. P. 121–127. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000163526.60240.b6>
- Keller J., Sánchez-Dalmau B.F., Villoslada P. Lesions in the posterior visual pathway promote trans-synaptic degeneration of retinal ganglion cells. *PLoS One.* 2014. V. 9. № 5. P. e97444. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097444>
- Kline L.B. Anatomy and physiology of the optic tracts and lateral geniculate nucleus. In: *Walsh & Hoyt Neuroophthalmology*. Eds 5 by N. Miller, N. Newman. The Williams&Wilkins Baltimore. 1998. V. 1. № 5. P. 101–120.
- Livingston C.A., Mustari M.J. The anatomical organization of the macaque pregeniculate complex. *Brain Res.* 2000. V. 876. № 1-2. P. 166–179. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(00\)02647-0](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(00)02647-0)
- McFadzean R., Brosnahan D., Hadley D., Mutlukan E. Representation of the visual field in the occipital striate cortex. *Br. J. Ophthalmol.* 1994. V. 78. № 3. P. 185–190. <https://doi.org/10.1136/bjo.78.3.185>
- Meier P.G., Maeder P., Kardon R.H., Borruat F. Homonymous ganglion cell layer thinning after isolated occipital lesion: macular OCT demonstrates transsynaptic retrograde retinal degeneration. *J. Neuro-Ophthalmol.* 2015. V. 35. № 2. P. 112–116. <https://doi.org/10.1097/WNO.0000000000000182>
- Murray M.M., Thelen A., Thut G. The multisensory function of the human primary visual cortex. *Neuropsychologia.* 2016. V. 83. P. 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.08.011>
- Ota T., Kawai K., Kamada J. Intraoperative monitoring of cortically recorded visual response for posterior visual pathway. *J. Neurosurg.* 2010. V. 112. № 2. P. 285–294. <https://doi.org/10.3171/2009.6.JNS081272>
- Pasupathy A., Connor C.E. Shape representation in area V4: position-specific tuning for boundary conformation. *J. Neurophys Sci.* 2001. V. 86. № 5. P. 2505–2519. <https://doi.org/10.1152/jn.2001.86.5.2505>
- Rizzo J.F. Embryology, Anatomy, and Physiology of the Afferent Visual Pathway. In: *Walsh & Hoyt's Clinical Neuro-Ophthalmology*. 6th ed. by N. Miller, N. Newman. Lippincott Williams & Wilkins Copyright. 2005. V.I. Sec. I. P. 4–82.
- Tong F. Primary visual cortex and visual awareness. *Nat. Rev. Neurosci.* 2003. V. 4. № 3. P. 219–229. <https://doi.org/10.1038/nrn1055>
- Wall M. Optic radiations and occipital cortex. In: *Walsh & Hoyt Neuroophthalmology*. Ed. 5 by N. Miller, N. Newman. Williams & Wilkins Baltimore. 1998. V.I. № 6. P. 121–151.
- Zhaoping Li. A new framework for understanding vision from the perspective of the primary visual cortex. *Curr Opin Neurobiol.* 2019. V. 58. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2019.06.001>