

Сырвакова А.О.

Крымская медицинская академия имени С.И. Георгиевского,
Симферополь, Украина

Надійшла: 27.08.2020

Прийнята: 22.09.2020

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2020.3.177-185>

УДК 611.846.1

НОРМАЛЬНАЯ АНАТОМИЯ И АНОМАЛИИ ПРЯМЫХ ЭКСТРАОКУЛЯРНЫХ МЫШЦ У ЧЕЛОВЕКА

Syrvakova A.O.   Normal anatomy and abnormalities of the rectus extraocular muscles in humans. Crimean Medical Academy named after S.I. Georgievsky, Simferopol, Ukraine.


ABSTRACT. The development of modern surgical techniques makes a deep knowledge of anatomy, in the case of ophthalmic surgery, also functional problems of the extraocular muscles. Thus, the purpose of our review was to summarize the latest findings on normal anatomy and anomalies of rectus extraocular muscles (ERMs). Particular attention was paid to the presentation of detailed and structured data on the general anatomy of the ERMs, including their attachment, topography, vascularization and innervation. The question of ERMs innervation is presented in detail, taking into account recent studies on human material using methods.

Key words: extraocular muscles, normal anatomy, abnormalities.

Citation:

Syrvakova AO. [Normal anatomy and abnormalities of the rectus extraocular muscles in humans]. *Morphologia*. 2020;14(3):177-85. Russian.

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2020.3.177-185>

 Syrvakova A.O. 0000-0003-4945-1024

 syrvakova.angelina@yandex.ru

© SI «Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of Health of Ukraine», «Morphologia»

Введение

Развитие современной хирургической техники делает необходимым глубокое знание анатомии и, в случае офтальмологической хирургии, также функциональных аспектов экстраокулярных мышц (ЭОМ) [1-6]. Однако ознакомление с многочисленными данными из различных научных источников может оказаться трудоемким. Отсюда возникает необходимость в тщательных обзорах литературы по специализированным и клинически значимым областям фундаментальных наук. Основная идея данного обзора состояла в том, чтобы обобщить последние данные в области нормальной анатомии и аномалий прямых экстраокулярных мышц человека, а именно медиальной, латеральной, верхней и нижней прямых мышц. Особое внимание было уделено представлению подробных и структурированных данных по общей анатомии прямых ЭОМ, включая их прикрепление, топографию, васкуляризацию и иннервацию. Вопрос об иннервации ЭОМ был представлен подробно, с учетом недавно проведенных исследований на человеческом материале [2-6].

Обзор анатомических данных

Четыре прямых ЭОМ имеют особое при-

крепление к круговой фиброзной полосе, расположенной на вершине орбиты, известной как общее сухожильное кольцо, кольцевое сухожилие или кольцо Цинна. Все четыре прямые ЭОМ происходят из этой сухожильной структуры с короткими проксимальными сухожилиями [7-14]. Общее сухожильное кольцо окружает зрительный нерв и некоторую часть верхней глазничной щели. Таким образом, содержимое кольца - это нервы и сосуды, проходящие через вышеупомянутые пространства, то есть зрительный нерв и глазная артерия (которые проходят через зрительный канал), а также верхняя и нижняя ветви глазодвигательного нерва, назоцилиарный нерв и отводящий нерв, проходящий через верхнюю глазничную щель. Более того, кольцевидное сухожилие также является местом прикрепления верхней косой мышцы и мышцы, поднимающей верхнее веко [7-14]. Кольцевое сухожилие было впервые описано Антонио Мария Вальсальва в его трактате «Opera omnia», опубликованном в 1740 году. Однако первая правильная функциональная интерпретация значения этой структуры была дана Иоганном Готфридом Цинном в «Descriptio anatomica oculi humani», опубликованном в 1755 году [12].

Дальше прямые ЭОМ направляются дивергентно к экватору глазного яблока и располагаются конусообразно вокруг зрительного нерва и задней части глазного яблока, образуя границы так называемого интраканального пространства [15]. Длина прямых ЭОМ приблизительно равна 40 мм, однако сухожилия этих мышц различаются по длине: медиальная прямая мышца характеризуется самым коротким сухожилием (около 4 мм), а сухожилие латеральной прямой мышцы - самым длинным (около 8 мм). Средняя длина сухожилий для нижней и верхней прямых мышц составляет 6 мм и 7 мм соответственно. Дистальные сухожилия всех четырех прямых ЭОМ занимают переднее положение относительно экватора глазного яблока и прикрепляются к склере [1, 7–14]. Однако прикрепления прямых ЭОМ также различаются по их конкретному положению на глазном яблоке, их расстоянию от лимба и длине дистального сухожилия. Результаты измерений, проведенных разными авторами на отдельных прикреплениях экстраокулярных прямых мышц, немного различаются [1, 8–11, 13, 14]. Пилблад [13] измерил расстояния между прикреплением экстраокулярных прямых мышц и лимбом у 46 пациентов, которым была выполнена оптическая когерентная томография переднего сегмента. Средние расстояния между местом прикрепления и лимбом, измеренные для каждой прямой мышцы, были следующими: 5,7 мм (SD = 0,8 мм, диапазон от 4,3 мм до 7,8 мм) для медиальной прямой ЭОМ; 6,0 мм (SD = 0,6 мм, диапазон от 4,8 до 7,0 мм) для нижней прямой ЭОМ; 6,8 мм (SD = 0,7 мм; диапазон от 4,8 до 8,4 мм) для латеральной прямой ЭОМ; и 6,8 мм (SD = 0,6 мм, диапазон от 5,5 до 8,1 мм) для верхней прямой ЭОМ [13]. Старк [14] в свою очередь, проводил свои измерения во время операций по поводу косоглазия. Были обнаружены следующие средние значения: расстояние от места прикрепления до лимба у медиальной прямой ЭОМ = 4,5 мм (на 675 оперированных глазах); у нижней прямой ЭОМ = 5,67 мм (в 22 оперированных глазах); расстояние между местом прикрепления и лимбом латеральной прямой ЭОМ = 6,20 мм (на 493 оперированных глазах); у верхней прямой ЭОМ = 6,64 (оперирован 21 глаз). Автор сравнил свои результаты с классическими данными, полученными более 100 лет назад: 5,5 мм для медиальной, 6,5 мм для нижней, 6,9 мм для латеральной и 7,7 мм для верхней прямой ЭОМ. Наблюдалась общая тенденция, заключающаяся в увеличении расстояния от места прикрепления до лимба при счете от медиальной прямой ЭОМ против часовой стрелки [1, 8–11, 13, 14]. Фарзаванди [1] дает еще один показатель (т.е. «дугу контакта»), который определяет отношение дистального сухожилия к склере. Дуга контакта различается для разных экстраокулярных прямых мышц и составляет 6 мм для меди-

альной, 7 мм для нижней, 10 мм для латеральной и 6,5 мм для верхней прямой ЭОМ [1]. Таким образом, точная визуализация и расположение мест прикрепления прямых ЭОМ могут иметь решающее значение при проведении офтальмологических операций [1, 13].

Медиальная прямая ЭОМ является самой широкой среди всех ЭОМ [2]. Начало мышцы фиксируется к медиальной части общего сухожильного кольца. В дальнейшем медиальная прямая мышца проходит параллельно медиальной стенке орбиты и за счет расширения сухожилий входит в склеру, ширина которой составляет около 10 мм на уровне прикрепления к глазному яблоку [1, 9]. Длина сухожилия медиальной прямой ЭОМ, измеренная от начала, составляет около 3,7 мм, в то время как средняя полная длина составляет около 40,8 мм [9]. Подробные измерения медиальной прямой ЭОМ показали, что средняя длина медиальной ЭОМ составляет 37,6 мм (SD = 4,6 мм), длину сухожилия медиальной прямой ЭОМ - 4,4 мм (SD = 1,9 мм) и ширину - 10 мм (SD = 1,8 мм) [5]. Медиальная прямая ЭОМ действует как аддуктор глаза [1, 2, 9]. Вместе с латеральной прямой ЭОМ эти мышцы классифицируются как так называемые горизонтальные прямые мышцы из-за того, что их основное действие происходит в горизонтальной плоскости. Более того, горизонтальный вестибулоокулярный рефлекс требует скоординированной активности как медиальной, так и латеральной прямых ЭОМ [16].

Характерной особенностью строения латеральной прямой экстраокулярной мышцы является так называемое «двуглавое начало», поскольку эта мышца начинается от кольцевого сухожилия с двумя сухожильными связками [7]. Медиальная часть верхней орбитальной щели расположена между этими двумя начальными частями латеральной прямой ЭОМ. Латеральная прямая ЭОМ проходит вдоль боковой стенки орбиты и прикрепляется к склере посредством сухожильного расширения, длина которого в среднем составляет 9,6 мм [4, 6]. Согласно последним исследованиям, средняя длина латеральной прямой ЭОМ составляет 46 мм (SD = 4,5 мм), средняя длина мышечной части составляет 36,4 мм (SD = 4,5 мм), а средняя ширина мышцы составляет 11,2 мм (SD = 1,6 мм) [4]. Линия прикрепления латеральной прямой ЭОМ вертикальная (иногда слегка выпуклая) и обычно симметричная [1]. Боковое движение глазного яблока является основной функцией латеральной прямой ЭОМ [1, 2, 8]. Однако недавние исследования указывают на сложную активность латеральной прямой ЭОМ с существованием функциональных компартментов (зон) внутри мышцы, которые могут избирательно активироваться в зависимости от типа и фазы движения [2–4, 17–22].

Верхняя прямая ЭОМ расположена под мышцей, поднимающей верхнее веко и направлена вперед и немного латерально для прикрепления к склере. Расстояние между местом прикрепления верхней прямой ЭОМ и лимбом составляет около 7,7 мм, что является наибольшим из всех прямых мышц [8–11, 13, 14]. Мышца образует со зрительной осью угол около 23 градусов. Она действует во время подъема глаза, а также при приведении и медиальном вращении [10]. Наряду с нижней прямой ЭОМ, верхняя прямая ЭОМ классифицируется как вертикальная прямая мышца. Фиброзная оболочка, покрывающая верхнюю прямую ЭОМ, утолщена на ее дистальном конце, под мышцей, поднимающей верхнее веко и сливается с влагалищем этой мышцы, которое также утолщено на ее дистальной части. Созданная таким образом структура называется фасциальной оболочкой [23, 24]. Она проходит вперед между двумя мышцами, имеет форму трапеции и прикрепляется к верхнему своду конъюнктивы [23]. Средняя длина фасциального футляра составляет 12,2 мм (SD = 2 мм), тогда как средняя толщина этой структуры составляет 1,1 мм (SD = 0,1 мм) [25]. Из-за такой тесной связи между двумя мышцами, верхняя прямая ЭОМ также влияет на положение верхнего века [26, 27].

Нижняя прямая ЭОМ проходит перпендикулярно нижней стенке орбиты. Длинная ось мышцы также отклоняется от зрительной оси примерно на 23 градуса [11]. Передняя часть мышцы отделена от глазницы нижней косой мышцей. Мышца вызывает отведение книзу (первичная функция), внешнее вращение (вторичная функция) и приведение глазного яблока (третичная функция).

Анатомические вариации и аномалии прямых ЭОМ

Некоторые прямые ЭОМ имеют относительно постоянную морфологию. Анатомическая изменчивость чаще всего касается размера (длины, ширины и толщины мышц или сухожилия), как это было описано ранее [1, 7–11]. Отдельные прямые ЭОМ могут иногда дублироваться, быть недоразвитыми или даже отсутствовать. Кроме того, внутри орбиты могут обнаруживаться дополнительные мышечные связки [28]. Тем не менее, анатомические вариации и аномалии прямых ЭОМ время от времени обнаруживаются при диагностических исследованиях, а также при хирургических манипуляциях и патоанатомических вскрытиях.

Грубые анатомические вариации верхней прямой ЭОМ наблюдаются редко. Был представлен отчет об удвоении верхней прямой ЭОМ, обнаруженном во время обычного вскрытия трупа 70-летнего мужчины [29]. Другие авторы, в свою очередь, сообщили об односторонней аплазии верхней прямой ЭОМ у пациента, у которого

клинически проявлялась гипотропия левого глаза, при этом не обнаруживались какие-либо черепно-лицевые аномалии [30]. Был описан уникальный случай - пациент с двусторонним отсутствием верхней прямой ЭОМ, клинически проявлявшимся двойным параличом поднимающей мышцы. Этот случай был уникальным из-за «парадоксальных движений» глаз пациента при попытке взглянуть вверх» и отсутствия каких-либо серьезных черепно-лицевых аномалий [31]. По некоторым данным, частота врожденных экстраокулярных мышечных аномалий увеличивается при черепно-лицевом дизостозе [32]. Кроме того, часть исследований сообщают о том, что отсутствие или аномалии верхних прямых ЭОМ чаще всего имели место в контексте черепно-лицевых патологий [33]. Например, двусторонняя агенезия верхних прямых ЭОМ описана при синдроме Аперта [34]. Тем не менее, этиопатология этих аномалий и их частота встречаемости при черепно-лицевом дизостозе остаются неизвестными [35].

В литературе также имеются сообщения об отсутствии нижней прямой ЭОМ. Предполагается, что такие аномалии должны иметь значительные клинические проявления, например, гипертропию [36]. Эстл В.Ф. [37] предполагал, что врожденное отсутствие Нижней прямой ЭОМ может имитировать ее паралич, особенно при отсутствии сопутствующих черепно-лицевых аномалий. Случай одностороннего врожденного отсутствия нижней прямой мышцы был диагностирован при планировании операции на вертикальной мышце при левой гипертропии [32]. Известны редкие сообщения о дублировании мышцы. Такой случай был представлен в описании односторонней врожденной энтропии и гипотропии, возникающих в результате дублирования нижней прямой ЭОМ [38].

Отношения между верхней прямой ЭОМ и мышечными волокнами мышцы, поднимающей верхнее веко, также являются переменными. Иногда мышечные волокна могут прободать верхнюю прямую ЭОМ. Сообщалось, что в 12,5% случаев прободения верхней прямой ЭОМ, мышечное волокно леватора верхнего века несло в себе ветвь нерва, иннервирующего сам леватор [39,40].

Отношения между нижней прямой ЭОМ и нервом, идущим к нижней косой мышце являются переменными. В некоторых случаях нерв нижней косой мышцы может прободать нижнюю прямую ЭОМ. По мнению некоторых авторов, нерв нижней косой мышцы может быть подвержен повреждению в большей степени, проходя вдоль латеральной границы нижней прямой мышцы. Таким образом, хирургические манипуляции, выполняемые на нижней прямой ЭОМ, могут вызвать паралич нижней косой мышцы, а также привести к возникновению тонического

зрачка из-за повреждения парасимпатических волокон, чаще всего сопровождающих нерв нижней прямой мышцы. Более того, если нерв нижней косой мышцы прободает нижнюю прямую мышцу, то его восприимчивость к повреждению, связанному с растяжением нижней прямой ЭОМ, оказывается большей [41].

В некоторых случаях могут определяться атипичные мышечные волокна, связывающие вертикальные прямые ЭОМ. Первая группа этих аномалий включает случаи, в которых верхняя и нижняя прямые ЭОМ связаны друг с другом мышечными волокнами [28, 42-44]. В некоторых случаях эти мышечные волокна также могут быть прикреплены к кольцу Цинна. Такие мышечные связки, происходящие от общего сухожильного кольца и прикрепляющиеся к прямым мышцам, называются добавочными прямыми мышцами [28, 42, 43]. Характерной особенностью добавочных прямых мышц является то, что они расположены латеральнее зрительного нерва. В редких случаях аномальный мышечный пучок из нижней косой мышцы может иногда присоединяться к нижней прямой мышце [42]. Возникновение этих аномалий можно объяснить отклонением дифференциации верхних и нижних мезенхимальных комплексов на ранних стадиях развития [44]. Клиническая значимость дополнительных мышечных связок или мостиков между верхней и нижней прямыми ЭОМ зависит от их размера и расположения [45]. Сообщения о таких результатах различаются в зависимости от отсутствия или наличия нарушений движения глаз. Один из известных случаев включает в себя отчет о двустороннем мышечном скольжении между верхними и нижними прямыми мышцами у 68-летнего трупа мужчины без аномалий движения глаз в истории болезни [43]. Кроме того, были обнаружены случаи, когда мышечные связки соединяли верхнюю и нижнюю прямые ЭОМ. У пациентов данная аномалия не проявлялась клинически и обнаруживалась случайно [45-47]. Предполагают, что мышечные мостики, связывающие верхнюю и нижнюю прямые ЭОМ, важны в дифференциальной диагностике внутриорбитальных поражений, а не в дифференциальной диагностике косоглазия [47]. Во время диагностической визуализации такие аномальные мышечные смещения могут быть спутаны с кровеносными сосудами или различными патологиями в пределах орбиты, например, лимфомой, сосудистой мальформацией или метастазами [43, 45]. Согласно отчету Хитри [48], мышечные связки, соединяющие верхнюю прямую с нижней прямой ЭОМ, составляют около 33% всех типов связок, обнаруженных в пределах орбиты.

Основные анатомические вариации горизонтальных прямых мышц включают дублирование латеральной прямой ЭОМ, раздвоенную вставку медиальной прямой ЭОМ, а также отсут-

ствие латеральной или медиальной прямых ЭОМ [28]. В медицинской литературе также сообщается о многочисленных врожденных аномалиях горизонтальных прямых мышц. Некоторые авторы пришли к выводу, что многочисленные врожденные аномалии, такие как отсутствие, гипоплазия, бифуркация или дубликация, могут затрагивать прямые ЭОМ, в том числе латеральную прямую мышцу. Представлен случай 5-летней пациентки с множественными сопутствующими глазными и системными врожденными пороками развития, имеющей деформированную латеральную прямую экстраокулярную мышцу на расстоянии 15 мм от лимба в правом глазу [49]. Имеется сообщения о дополнительной латеральной прямой ЭОМ у пациента с врожденным параличом третьего черепномозгового нерва [50]. Также была описана дополнительная латеральная прямая мышца у 51-летней пациентки с нормальным зрительным моторным контролем. В этом случае латеральная прямая ЭОМ была односторонней и составляла примерно 10% от размера нормальной мышцы. Описанная дополнительная латеральная мышца начиналась на вершине орбиты, располагалась между зрительным нервом и латеральной прямой ЭОМ и прикреплялась к верхнелатеральной стороне глазного яблока [51]. Врожденное отсутствие латеральной прямой мышцы связывают с дублированием сегмента хромосомы 7q32-q34 [53]. Ли описал дополнительную медиальную прямую ЭОМ при конвергентном фиксированном косоглазии [54]. Сообщалось о двух пациентах, один из них – с двусторонней врожденной дистрофией медиальной прямой мышцы, а второй – с двусторонним отсутствием медиальной мышцы; кроме того, в одном из этих случаев также наблюдалось отсутствие латеральной прямой ЭОМ. Также могут наблюдаться дополнительные мышечные полосы между латеральной и медиальной прямыми ЭОМ. Такие мышечные связки обычно проходят через заднюю треть орбиты под зрительным нервом и сливаются с медиальной прямой ЭОМ [42]. Если мышечные связки между верхней и нижней прямыми мышцами не всегда вызывают нарушения движения глаз, то аномальные орбитальные структуры (такие как мышечные или фиброзные полосы), прикрепляющиеся к глазному яблоку, могут вызывать механическое ограничение, приводящие к нарушениям моторики. В редких случаях эти аномальные структуры могут также вызвать косоглазие [57]. Выделяют три типа аномальных орбитальных связок. Фиброзные и мышечные могут располагаться под прямыми ЭОМ, они также могут быть частью самих ЭОМ или отдельными мышцами, берущими начало позади орбиты и прикрепляющимися в аномальных местах глазного яблока. Орбитальные связки могут быть причиной необычных паттернов косоглазия, что подтвержда-

ется клиническими данными [57]. Аномальные структуры орбиты могут быть обнаружены в случаях втягивания глазного яблока, не связанного с синдромом ретракции Дуэйна, очень тяжелого вертикального косоглазия или повышенного дефицита углубления при отведении. Одно-сторонние или двусторонние орбитальные связки были обнаружены у 0,8% ортотропных и 2,4% пациентов с косоглазием. Основываясь на полученных в ходе этого исследования данных, можно сделать вывод, что горизонтальные связки, соединяющие медиальную с латеральной ЭОМ непосредственно позади глазного яблока, могут ограничивать супрадукцию за счет коллизии со зрительным нервом, и, что особенно важно, эти связки обычно расположены слишком глубоко для обычных хирургических доступов при косоглазии [48].

Кровоснабжение прямых ЭОМ

Прямые ЭОМ кровоснабжаются сосудами, снабжающими почти всю латеральную часть переднего сегмента глаза. Однако медиальная половина переднего сегмента глаза также имеет общее кровоснабжение с прямой ЭОМ [11]. Прямые ЭОМ в основном кровоснабжаются ветвями, берущими свое начало из глазной артерии [7–11, 58, 59]. Латеральная прямая ЭОМ может получать дополнительное кровоснабжение непосредственно из слезной артерии, которая является ветвью глазной артерии [8]. Наиболее частыми источниками мышечных артериальных ветвей являются слезная артерия для нижнелатеральной группы мышц (43,36%), глазная артерия для верхней косой мышцы (36,84%), надглазничная артерия (36,84%) для мышцы, поднимающей верхнее веко, дистальный конец глазной артерии для верхней прямой мышцы (52,6%), слезная артерия для латеральной прямой мышцы (89,47%) и нижнемедиальный мышечный ствол для медиальной прямой мышцы (84,51%) [59]. Венозный отток прямых ЭОМ обеспечивается верхней и нижней глазничными венами [8–11, 58]. В современном представлении прямые ЭОМ имеют некую ламинарную структуру, в которой различают глазничный слой и слой глазного яблока прямых ЭОМ, выполняющие разные функции. Было доказано, что глазничный слой внутри прямых ЭОМ имеет значительно больше сосудов на единицу площади, больше сосудов на мышечное волокно и больше общей площади просвета сосудов, чем слой глазного яблока [60]. Предполагают, что более высокий кровоток в глазничных слоях может коррелировать с большей метаболической активностью этой области [61].

Иннервация прямых ЭОМ

Микрохирургическая анатомия нервов глаза важна в клиническом контексте. Она помогает обеспечивать хирургические доступы, сохраняющие функцию прямых ЭОМ, или помогает лучше понять симптомы паралича нерва. Сомато-

моторная иннервация прямых ЭОМ происходит из двух различных источников. Три из четырех прямых мышц иннервируются третьим черепно-мозговым (глазодвигательным) нервом. Иннервация верхней прямой мышцы обеспечивается верхней ветвью глазодвигательного нерва, в то время как мышечные ветви к медиальной и нижней прямым мышцам отходят от нижней ветви глазодвигательного нерва. Латеральная прямая ЭОМ, в свою очередь, иннервируется шестым черепным (отводящим) нервом [7–11].

Две основные ветви глазодвигательного нерва присоединяются к глазнице через верхнюю глазничную щель медиальнее слезного нерва. Верхняя ветвь глазодвигательного нерва входит в верхнюю прямую ЭОМ снизу пятью (от 3 до 7) мышечными подветвями, продолжающими свой путь в брюшке мышцы [60,62]. Некоторые из этих волокон продолжают свой путь вокруг медиальной границы верхней прямой мышцы (или прободают мышцу), чтобы иннервировать вышележащую мышцу, поднимающую верхнее веко [39,40]. Нижний отдел глазодвигательного нерва дает две мышечные ветви к ЭОМ, нерв к нижней косой мышце и, иногда, парасимпатический нерв цилиарного ганглия. Одна из этих мышечных ветвей проходит вперед к нижней прямой ЭОМ. Обычно около семи ветвей (в диапазоне от 3 до 10) достигают внутренней поверхности нижней прямой мышцы [60, 62]. Вторая мышечная ветвь, отходящая от нижнего отдела глазодвигательного нерва, проходит медиально, ниже зрительного нерва, и достигает медиальной прямой мышцы. Мышечная ветвь медиальной прямой ЭОМ может быть разделена на пять подветвлений (от 3 до 8), достигающих внутренней поверхности мышцы [60]. Отводящий нерв иннервирует только латеральную прямую ЭОМ. Он выходит в орбиту через верхнюю глазничную щель, ниже назоцилиарного нерва.

В новейших анатомических работах по иннервации прямых ЭОМ особое внимание уделяется внутримышечному распределению соматомоторных нервных волокон, что имеет большое значение для понимания сложного действия этих мышц. Иннервация прямых ЭОМ, по-видимому, обладает некоторыми особыми свойствами, такими как высокое соотношение нервных ветвей (от 1 до 3 или от 1 до 5, по сравнению с другими скелетными мышцами - от 1 до 50 или даже от 1 до 125) [10, 11, 63] или потенциальная независимая активность мышечных слоев и компартментов [2, 6, 18–22, 64, 65]. Детальная анатомия отводящего нерва (включая внутримышечное распределение нервных ветвей) в латеральной прямой мышце была подробно изучена [3, 4]. По словам авторов, отводящий нерв присоединяется к задней трети латеральной прямой мышцы, а затем делится на несколько мышечных подветвлений, в то время как ход нерва внутри мышцы

заканчивается примерно на половине ее длины [4].

В последующем единственном на сегодняшний день исследовании были получены аналогичные результаты по внутримышечному распределению нервов в медиальной прямой ЭОМ. На основании этого исследования можно сделать вывод, что мышечные подветвления глазодвигательного нерва присоединяются к первой трети медиальной прямой мышцы и затем обычно делятся на несколько внутримышечных ветвей. Несмотря на детальный анализ литературы, не было обнаружено сообщений о прохождении внутримышечных нервов в пределах верхней и нижней прямых мышцах у человека.

Основываясь на изученных описаниях, можно утверждать, что в пределах прямых ЭОМ внутримышечное распределение нервов демонстрирует Y-форменное разветвление. После того как мышечные подветви входят в мышечное брюшко, они подвергаются многочисленным дальнейшим делениям, образуя плотную область внутримышечных нервов, имеющих плексиформный вид [3–5]. Этот конгломерат внутримышечных нервов образует так называемое терминальное сплетение, которое заканчивается

примерно на половине длины мышцы. В двух исследованиях, проведенных на латеральной прямой ЭОМ, было высказано предположение о наличии одиночных тонких нервных ветвей, соединяющих области прикреплений латеральной прямой мышцы. Некоторые исследования [2–4, 6, 64] предполагают также некоторую специфическую сегрегацию мышечных подветвей отводящего нерва на высшую и низшую группы. Эти результаты могут дать хорошее представление о внутримышечной анатомии и функции прямых ЭОМ.

Заключение

Последние исследования дополняют классические анатомические описания прямых ЭОМ, проливая новый свет на сложную структуру и функции этих мышц. Точный контроль движений глазного яблока основан на сложной анатомической и биомеханической системе, которая включает в себя специфическую структуру, иннервацию и васкуляризацию, а также разнообразную деятельность прямых ЭОМ.

Информация о конфликте интересов

Потенциальных или явных конфликтов интересов, связанных с этой рукописью, на момент публикации не существует и не предвидится.

Литературные источники References

1. Farzavandi S, authors; Farzavandi S, editor. Color Atlas of Strabismus Surgery. New York, NY, USA: Springer; 2007. 200 p. English.

2. Peng M, Poukens V, da Silva Costa RM, Yoo L, Tychsen L, Demer JL. Compartmentalized innervation of primate lateral rectus muscle. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2010;51(9):4612–4617. English.

3. Nam YS, Kim I-B, Shin SY. Detailed anatomy of the abducens nerve in the lateral rectus muscle. *Clinical Anatomy*. 2017;30(7):873–877. English.

4. Shin HJ, Lee S-H, Shin K-J, Koh K-S, Song W-C. Intramuscular distribution of the abducens nerve in the lateral rectus muscle for the management of strabismus. *Current Eye Research*. 2018;43(6):689–695. English.

5. Shin HJ, Lee S-H, Ha T-j, Song W-C, Koh K-S. Intramuscular nerve distribution in the medial rectus muscle and its clinical implications. *Current Eye Research*. 2019;44(5):522–526. English.

6. Haladaj R, Wysiadecki G, Tubbs RS. Intramuscular innervation of the lateral rectus muscle evaluated using Sihler's staining technique: potential application to strabismus surgery. *Clinical Anatomy*. 2020; 33(4):585-591. English.

7. Standring S. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. American Journal of Neuroradiology November 2005;26(10):2703-2704.

English.

8. Fernandez Cabrera A, Suarez-Quintanilla J, authors; Fernandez Cabrera A, Suarez-Quintanilla J, editors. *Anatomy, head and neck, eye lateral rectus muscle*. Treasure Island, FL, USA: StatPearls Publishing; 2019. 200 p. English.

9. Shumway CL, author; Motlagh M, Wade M, editors. *Anatomy, head and neck, eye medial rectus muscles*. Treasure Island, FL, USA: StatPearls Publishing; 2019. 200 p. English.

10. Shumway CL, Motlagh M, authors; Wade M, editor. *Anatomy, head and neck, eye superior rectus muscle*. Treasure Island, FL, USA: StatPearls Publishing; 2019. 250 p. English.

11. Shumway CL, author; Motlagh M, Wade M, editors. *Anatomy, head and neck, eye inferior rectus muscle*. Treasure Island, FL, USA: StatPearls Publishing; 2019. 210 p. English.

12. Zampieri F, Marrone D, Zanatta A. Should the annular tendon of the eye be named “annulus of Zinn” or “of Valsalva?” *Acta Ophthalmologica*. 2015;93(1):97–99. English.

13. Pihlblad MS, Erenler F, Sharma A, Manchandia A, Reynolds JD. Anterior segment optical coherence tomography of the horizontal and vertical extraocular muscles with measurement of the insertion to limbus distance. *Journal of Pediatric Ophthalmology & Strabismus*. 2016;53(3):141–145. English.

14. Stark N., Kuck H. Distance of muscle insertions in the corneal limbus. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*. 1986;189(2):148–153. English.
15. Miyake MM, Bleier BS, authors; Chiu AG, Palmer JN, Adappa ND, editors. *Endoscopic approach and removal of orbital tumors*. Philadelphia, PA, USA: Elsevier; 2019. 170 p. English.
16. Holstein GR, author; Mai J. K., Paxinos G., editors. *The vestibular system*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier; 2012. 1280 p. English.
17. da Silva Costa RM, Kung J, Poukens V, Yoo L, Tychsen L, Demer JL. Intramuscular innervation of primate extraocular muscles: unique compartmentalization in horizontal recti. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2011;52(5):2830–2836. English.
18. Clark RA, Demer JL. Differential lateral rectus compartmental contraction during ocular counter-rolling. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2012;53(6):2887–2896. English.
19. Demer JL, Oh SY, Poukens V. Evidence for active control of rectus extraocular muscle pulleys. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2000;41(6):1280–1290. English.
20. Demer JL, Clark RA, Lim K-H, Engle EC. Magnetic resonance imaging evidence for widespread orbital dysinnervation in dominant Duane's retraction syndrome linked to the DURS2 locus. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2007;48(1):194–202. English.
21. Demer JL, Clark RA. Magnetic resonance imaging of differential compartmental function of horizontal rectus extraocular muscles during conjugate and converged ocular adduction. *Journal of Neurophysiology*. 2014;112(4):845–855. English.
22. Demer JL. Compartmentalization of extraocular muscle function. *Eye*. 2015;29(2):157–162. English.
23. Hwang K, Shin YH, Kim DJ. Conjoint fascial sheath of the levator and superior rectus attached to the conjunctival fornix. *The Journal of Craniofacial Surgery*. 2008;19(1):241–245. English.
24. Ettl A, Priglinger S, Kramer J, Koornneef L. Functional anatomy of the levator palpebrae superioris muscle and its connective tissue system. *British Journal of Ophthalmology*. 1996;80(8):702–707. English.
25. Hwang K. Surgical anatomy of the upper eyelid relating to upper blepharoplasty or blepharoptosis surgery. *Anatomy & Cell Biology*. 2013;46(2):93–100. English.
26. Byun JS, Lee JK. Relationships between eyelid position and levator-superior rectus complex and inferior rectus muscle in patients with Graves' orbitopathy with unilateral upper eyelid retraction. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2018;256(10):2001–2008. English.
27. Sevel D. Ptosis end underaction of the superior rectus muscle. *Ophthalmology*. 1984;91(9):1080–1085. English.
28. Kocabiyik N, author; Tubbs RS, Shoja MM, Loukas M, editors. *Bergman's Comprehensive Encyclopedia of Human Anatomic Variation*. Hoboken, NJ, USA: Wiley; 2016. 220 p. English.
29. Nayak SB, Shetty SD, Kumar N, Aithal AP. Double-bellied superior rectus muscle. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2019;41(6):713–715. English.
30. Bagheri A, Ferdosi A, Bottros A, Hunter D. Unilateral superior rectus aplasia without craniofacial anomaly. *Digital Journal of Ophthalmology*. 2005;11(5). English.
31. Mather TR, Saunders RA. Congenital absence of the superior rectus muscle: a case report. *Journal of Pediatric Ophthalmology and Strabismus*. 1987;24(6):291–295. English.
32. Ingham PN, McGovern ST, Crompton JL. Congenital absence of the inferior rectus muscle. *Australian and New Zealand Journal of Ophthalmology*. 1986;14(4):355–358. English.
33. Law G, Khan HM, Lyons CJ, Anderson DP. Unilateral absence of the superior rectus muscle: an unusually delayed presentation. *Canadian Journal of Ophthalmology*. 2019;54(6):e297–e300. English.
34. Cuttone JM, Brazis PJ, Miller MT, Folk ER. Absence of the superior rectus muscle in Apert's syndrome. *Journal of Pediatric Ophthalmology and Strabismus*. 1979;16(6):349–354. English.
35. Diamond GR, Katowitz JA, Whitaker LA, Quinn GE, Schaffer DB. Variations in extraocular muscle number and structure in craniofacial dysostosis. *American Journal of Ophthalmology*. 1980;90(3):416–418. English.
36. Yang S, Guo X. Treatment of large hypertropia following absence of inferior rectus by integrated anteriorization of inferior oblique combined with recession of superior rectus. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*. 2015;51(6):424–428. Chinese.
37. Astle WF, Hill VE, Ells AL, Chi NTT, Martinovic E. Congenital absence of the inferior rectus muscle—diagnosis and management. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*. 2003;7(5):339–344. English.
38. Shazly TA, Stefko ST. Congenital entropion and hypotropia secondary to duplication of the inferior rectus muscle. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*. 2017;21(1):85–87. English.
39. Djordjevic B, Novakovic M, Milisavljevic M, Milicevic S, Malikovic A. Surgical anatomy and histology of the levator palpebrae superioris muscle for blepharoptosis correction. *Vojnosanitetski Pregled*. 2013;70(12):1124–1131. English.
40. Bye LA., Modi NC authors; Stanford M, editor. *Basic Sciences for Ophthalmology*. Oxford, UK: Oxford University Press; 2013. 144 p. English.
41. Black EH, Nesi FA, Gladstone GJ, authors; Levine MR, editor. *Smith and Nesi's Ophthalmic Plastic and Reconstructive Surgery*. Berlin, Germany: Springer; 2012. 250 p. English.
42. Bergman RA, Afifi AK, authors; Miyauchi

R, editor. Illustrated encyclopedia of human anatomic variation. Related Digital Libraries. 2015. 500 p. English.

43. Haładaj R, Wysiadecki G, Polguy M, Topol M. Bilateral muscular slips between superior and inferior rectus muscles: case report with discussion on classification of accessory rectus muscles within the orbit. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2018;40(7):855–862. English.

44. Bohnsack BL, Gallina D, Thompson H, et al. Development of extraocular muscles requires early signals from periocular neural crest and the developing eye. *Archives of Ophthalmology*. 2011;129(8):1030–1041. English.

45. Kightlinger BS, Saraf-Lavi E, Sidani C. Anomalous extraocular muscles: a case series of orbital bands connecting the superior rectus to inferior rectus. *Neurographics*. 2017;7(2):88–91. English.

46. Von Ludinghausen M. Bilateral supernumerary rectus muscles of the orbit. *Clinical Anatomy*. 1998;11(4):271–277. English.

47. Kakizaki H, Zako M, Nakano T, Asamoto K, Miyaishi O, Iwaki M. An anomalous muscle linking superior and inferior rectus muscles in the orbit. *Anatomical Science International*. 2006;81(3):197–199. English.

48. Khitri MR, Demer JL. Magnetic resonance imaging of tissues compatible with supernumerary extraocular muscles. *American Journal of Ophthalmology*. 2010;150(6):925–931. English.

49. Sachdev N, Tiakumzuk S, Aulakh R, Brar GS. Anomalous bilateral lateral rectus muscles and anterior polar cataract with dysmorphic features. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*. 2009;13(3):319–321. English.

50. Park CY, Oh SY. Accessory lateral rectus muscle in a patient with congenital third- nerve palsy. *American Journal of Ophthalmology*. 2003;136(2):355–356. English.

51. Liao YJ, Hwang JJ. Accessory lateral rectus in a patient with normal ocular motor control. *Journal of Neuro-Ophthalmology*. 2014;34(2):153–154. English.

52. Sandall GS, Morrison JW. Congenital absence of lateral rectus muscle. *Journal of Pediatric Ophthalmology and Strabismus*. 1979;16(1):35–39. English.

53. Keith CG, Webb GC, Rogers JG. Absence

of a lateral rectus muscle associated with duplication of the chromosome segment 7q32–q34. *Journal of Medical Genetics*. 1988;25(2):122–125. English.

54. Lee S. C., Kim U. Accessory medial rectus muscle in strabismus fixus convergens. *Eye*. 2009;23(11):p. 2119. English.

55. Murthy R. Congenital dystrophic medial rectus muscles. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2017;65(1):62–64. English.

56. Nam YS, Park Y, Kim I-B, Shin SY. Detailed anatomy of the lateral rectus muscle-superior rectus muscle band. *Journal of Ophthalmology*. 2019;2019:p. 4. English.

57. Lueder GT. Anomalous orbital structures resulting in unusual strabismus. *Survey of Ophthalmology*. 2002;47(1):27–35. English.

58. Shumway CL, Motlagh M, authors; Wade M, editor. *Anatomy, head and neck, eye extraocular muscles*. Treasure Island, FL, USA: StatPearls Publishing; 2019. 2000 p. English.

59. Erdogmus S, Govsa F. Arterial vascularization of the extraocular muscles on its importance for orbital approaches. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2017;18(5):1125–1132. English.

60. Zhang Y, Liu H, Liu E-Z, Lin Y-Z, Zhao S-G, Jing G-H. Microsurgical anatomy of the ocular motor nerves. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2010;32(7):623–628. English.

61. Oh SY, Poukens V, Demer JL. Quantitative analysis of rectus extraocular muscle layers in monkey and humans. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. 2001;42(1):10–16. English.

62. Park HK, Rha HK, Lee KJ, Chough CK, Joo W. Microsurgical anatomy of the oculomotor nerve. *Clinical Anatomy*. 2017;30(1):21–31. English.

63. Tsuda H, Tanaka K. Clinico-anatomical analysis of the fibers to the inferior rectus muscle in the oculomotor fascicles. *Internal Medicine*. 2012;51(15):2031–2034. English.

64. Wysiadecki G, Polguy M, Topol M. An unusual variant of the abducens nerve duplication with two nerve trunks merging within the orbit: a case report with comments on developmental background. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2016;38(5):625–629. English.

65. Bruenech JR, Kjellevoid Haugen IB. How does the structure of extraocular muscles and their nerves affect their function? *Eye*. 2015;29(2):177–183. English.

Сирвакова А.О. Нормальна анатомія і аномалії прямих екстраокулярних м'язів у людини.

РЕФЕРАТ. Розвиток сучасної хірургічної техніки робить необхідним глибоке знання анатомії і, в разі офтальмологічної хірургії, також функціональних аспектів екстраокулярних м'язів. Таким чином, метою нашого огляду стало узагальнення останніх отриманих даних щодо нормальної анатомії і аномалій прямих екстраокулярних м'язів. Особливу увагу було приділено поданням докладних і структурованих даних по загальній анатомії прямих екстраокулярних м'язів, включаючи їх прикріплення, топографію, васкуляризацию і іннервацію. Питання про іннервацію екстраокулярних м'язів було представле-

но детально, з урахуванням нещодавно проведених досліджень на людському матеріалі.

Ключові слова: екстраокулярні м'язи, нормальна анатомія, аномалії.

Сырвакова А.О. Нормальная анатомия и аномалии прямых экстраокулярных мышц у человека.

РЕФЕРАТ. Развитие современной хирургической техники делает необходимым глубокое знание анатомии и, в случае офтальмологической хирургии, также функциональных аспектов экстраокулярных мышц (ЭОМ). Таким образом, целью нашего обзора явилось обобщение последних полученных данных о нормальной анатомии и аномалиях прямых ЭОМ. Особое внимание было уделено представлению подробных и структурированных данных по общей анатомии прямых ЭОМ, включая их прикрепление, топографию, васкуляризацию и иннервацию. Вопрос об иннервации ЭОМ был представлен подробно, с учетом недавно проведенных исследований на человеческом материале.

Ключевые слова: экстраокулярные мышцы, нормальная анатомия, аномалии.