

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-130-135>



Анатомические характеристики и структурные особенности зрительного нерва

Т.Н. Киселева¹, А.В. Баева², Е.К. Елисеева¹ ✉, К.В. Луговкина¹

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

В обзоре представлены данные литературы об анатомическом строении, морфологии и структурных особенностях зрительного нерва (ЗН). Подробно описаны 4 отдела ЗН: интраокулярный, интраорбитальный, интраканаликулярный и интракраниальный. Выделены особенности интраокулярного отдела, который подразделяется на три зоны: поверхностный слой нервных волокон, преламинарная часть и решетчатая пластинка склеры, различающиеся по гистологическому строению и кровоснабжению. Приведены данные об оболочках интраорбитальной части ЗН: твердой (dura mater), паутинной (arachnoidea) и мягкой (pia mater) — и гистологических структурах интраканаликулярной и интракраниальной части ЗН. Показаны отличительные особенности кровоснабжения различных участков ЗН. Информация об анатомических характеристиках и структурных особенностях ЗН имеет существенное значение для изучения патогенеза его поражений.

Ключевые слова: зрительный нерв; интраокулярный отдел; интраорбитальный отдел; интраканаликулярный отдел; интракраниальный отдел; анатомические характеристики; структурные особенности; кровоснабжение

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Киселева Т.Н., Баева А.В., Елисеева Е.К., Луговкина К.В. Анатомические характеристики и структурные особенности зрительного нерва. Российский офтальмологический журнал. 2024; 17 (1): 130-5. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-130-135>

Anatomical characteristics and structural features of the optic nerve

Tatiana N. Kiseleva¹, Alena V. Baeva², Elena K. Eliseeva¹ ✉, Kseniya V. Lugovkina¹

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² Moscow Evdokimov State Medical Stomatological University of Medicine and Dentistry, 20/1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia
eliseevaek@ya.ru

The review presents literature data about the anatomical structure, morphology and structural features of the optic nerve (ON). Four ON regions are detailed: intraocular, intraorbital, intracanalicular and intracranial. Specifically, the features of the intraocular region are outlined. It is divided into three zones: the surface nerve fiber layer, the prelaminar part and the lamina cribrosa of the sclera, which differ in histological structure and blood supply. The data on the coats of the intraorbital part include the details of the hard (dura mater), arachnoid and the soft (pia mater) coats. Other data represent the morphological structures of the intracanalicular and the intracranial parts of the ON. The distinctive features of blood supply in different ON regions are discussed. The information about the anatomical characteristics and structural features of the ON is important for studying the pathogenesis of the optic nerves damage.

Keywords: optic nerve; intraocular region; intraorbital region; intracanalicular region; intracranial region; anatomical characteristics; structural features; blood supply

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: the authors have no financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Kiseleva T.N., Baeva A.V., Eliseeva E.K., Lugovkina K.V. Anatomical characteristics and structural features of the optic nerve. Russian ophthalmological journal. 2024; 17 (1): 130-5 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-130-135>

Зрительный нерв (ЗН) — II пара черепно-мозговых нервов — является начальной частью проводящих путей зрительного анализатора. Волокна ЗН начинаются от ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) и продолжаются до зрительного перекреста. Длина ЗН варьирует в широких пределах даже между двумя глазами одного и того же индивидуума, составляя от 35 до 55 мм (от глазного яблока до хиазмы). ЗН анатомически разделен на 4 отдела: интраокулярный, интраорбитальный, интраканаликулярный и интракраниальный [1, 2].

Интраокулярный отдел ЗН имеет длину около 1 мм и диаметр приблизительно 1,5 мм (1,18–1,75 мм), при этом вертикальный диаметр незначительно превышает горизонтальный. Средний показатель горизонтального диаметра диска зрительного нерва (ДЗН) составляет 1,618 мм, вертикального — 1,796 мм [3]. На глазном дне ДЗН локализуется на 15° кнутри и на 3° кверху от заднего полюса глаза. Общее количество аксонов ГКС, составляющих ДЗН, колеблется от 550 000 до 1 200 000, уменьшаясь с возрастом [3–6]. Следует отметить, что область ДЗН не содержит фоторецепторов и является слепой зоной глазного дна, проекция которой в пространство носит название слепого пятна, или скотомы Бьеррума. Величина этой скотомы зависит от размера диска, состояния сосудов и окружающей сетчатки и может изменяться при различных патологических процессах [7]. Диаметр ДЗН зависит от величины хориосклерального канала, который имеет различную форму: коническую, цилиндрическую, «коленчатого» типа с наиболее широкой центральной частью. Длина хориосклерального канала составляет в среднем 0,5 мм, диаметр его внутреннего отверстия — около 1,5 мм, наружного — несколько больше. Этот участок ДЗН снабжен густой сетью капилляров [7].

Офтальмоскопическая картина ДЗН и размер физиологической экскавации зависят от формы и диаметра хориосклерального канала: чем меньше диаметр канала, тем меньше область экскавации и наоборот. Имеются сообщения о значительном сужении хориосклерального канала и отсутствии видимой физиологической экскавации ЗН. Ряд авторов относят подобную экскавацию ДЗН к факторам риска передней ишемической оптической нейропатии (ПИОН) — disk at risk [8–13].

Согласно результатам гистологического исследования ЗН в эксперименте, установлено, что область ДЗН, или интраокулярный отдел, подразделяется на три зоны: поверхностный слой нервных волокон, преламинарная часть и решетчатая пластинка (РП) склеры (lamina cribrosa sclera), между которыми отсутствует четкая демаркационная линия.

Поверхностный слой нервных волокон отделен от стекловидного тела внутренней пограничной мембраной Эльшнига и состоит из астроцитов и компактных нервных волокон, которые сходятся в этой зоне со всей сетчатки и непосредственно формируют ЗН [10, 14]. Поверхностный слой имеет большое количество кровеносных сосудов, включающих, наряду с крупными сосудами, густую капиллярную сеть. S. Hayreh [15] при проведении гистологического исследования у макак-резусов выявил остаток гиалоидной артерии

с хорошо развитой мышечной оболочкой и поверхностным покрытием из глиальной ткани (сосочек Бергмейстера), крайне редко встречающийся у человека.

Преламинарная зона ЗН представляет особый интерес с клинической точки зрения, поскольку при любых патологических изменениях, например при ПИОН, отеке ДЗН и глаукоме, является наиболее уязвимой областью ЗН. Преламинарная часть ЗН почти полностью состоит из глиальной ткани, волокна которой тоньше соединительнотканых и направлены к центру, перпендикулярно пучкам нервных волокон, на периферии волокна глии прилегают к сосудистой оболочке и склере. Кроме того, волокна глиальной ткани образуют трабекулы, внутри которых располагаются капилляры. J. Wolter [16] в своем исследовании сравнил эту часть ЗН с неглубокой «плетеной корзиной», состоящей из паутинообразных клеток и тесно связанной с РП у ее основания. По мнению ряда авторов, эта область является важной опорной и защитной структурой для нервных волокон. S. Hayreh [15] в эксперименте на макаках-резусах не обнаружил передней границы преламинарной зоны ЗН, определялась лишь связанная с ней капиллярами соединительная ткань (рис. 1).

Особенность строения глии в преламинарной области заключается в неплотном расположении клеток, что играет огромную роль при развитии отека ЗН. В ее центральной зоне имеется углубление разной степени выраженности, соответствующее физиологической экскавации. Если экскавация не достигает уровня РП, центральная соединительная ткань располагается дистально относительно дна экскавации [15]. В других случаях ее центральная

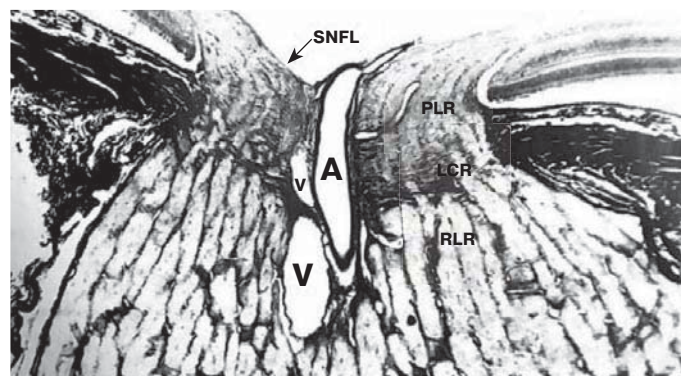


Рис. 1. Гистологический продольный срез нормального зрительного нерва у макаки-резуса в эксперименте S. Hayreh [15]: визуализируются поверхностный слой нервных волокон (SNFL), преламинарная зона (PLR), решетчатая пластинка (LCR) и постламинарная зона (RLR), центральная артерия сетчатки (A) и центральная вена сетчатки (V)

Fig. 1. Longitudinal section of a normal rhesus monkey optic nerve showing the region of the optic nerve head, the retrolaminar optic nerve, central retinal artery (A) and vein (V). LCR — lamina cribrosa region, PLR — preretinal region, RLR — retrolaminar region, SNFL — surface nerve fiber layer [15]

зона может достигать области РП. Преламинарная часть отделена несколькими слоями астроцитов от прилежащих слоев сетчатки. Астроциты локализируются в области хориосклерального канала, их отростки направлены кнутри, располагаются среди нервных пучков и окружают сосуды в этой зоне ЗН [17].

Решетчатая пластинка (РП) склеры представляет собой выпуклую кзади мембрану, не имеющую четкой границы между передней преламинарной (глиальной) и задней (соединительнотканной) зонами, и состоит из коллагена, глиальной и эластической ткани [18]. Площадь РП в среднем составляет $2,88 \pm 0,84 \text{ мм}^2$ (от 1,62 до 5,62 мм^2). В вертикальной плоскости пластинка более длинная. Соединительнотканые тяжи формируют в РП преимущественно овальные или круглые отверстия разного диаметра, через которые проходят пучки аксонов (рис. 2). Эти отверстия выстланы астроцитами и разделены глиальными трабекулами, некоторые крупные отверстия — соединительной тканью. Глиальные клетки, расположенные с внешней стороны, отделяют пучки аксонов от прямого контакта со склерой [19].

М. Hernandez и соавт. [20, 21] при иммунофлуоресцентном окрашивании тканей ЗН в эксперименте определили, что РП включает коллаген III, IV типов, эластиновые волокна и ламинин. С возрастом происходит увеличение плотности коллагена и эластина в этой области. E. Wolff и G. Renman [22] установили структурные различия РП: верхняя и нижняя части содержат более крупные отверстия и более тонкие соединительнотканые перегородки, чем носовые и височные части. Именно в этих местах менее всего обеспечивается структурная поддержка аксонов ГКС. Другие авторы на основании гистологических исследований определили, что структурные элементы соединительной ткани и глиальные клетки преобладают в носовой и височной областях [21]. Как и в преламинарной части, глиальная ткань в РП образует сплошную мембрану, окружающую каждый пучок нервных волокон, и отделяет их, таким образом, от прилегающей соединительной ткани. Соотношение глиального и соединительнотканного компонентов РП

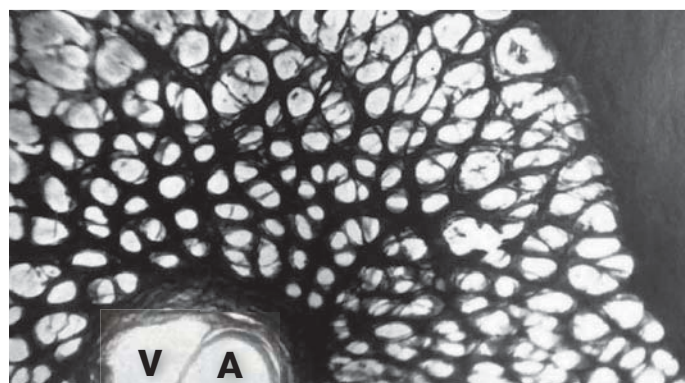


Рис. 2. Гистологический поперечный срез зоны решетчатой пластинки: соединительнотканые перегородки (септы) и круглые отверстия для нервных волокон, на периферии располагаются глиальные волокна, разделяющие отверстия, видны сосуды — центральная артерия сетчатки (А) и центральная вена сетчатки (В) (S. Hayreh [15])

Fig. 2. Transverse section of the lamina cribrosa, showing coarse connective-tissue septa, rounded openings for the nerve bundles and, in the periphery, glial fibers expanded across the openings. A — central retinal artery, V — central retinal vein (Hortega's stain). Reproduced from S. Hayreh [15]

у различных индивидуумов определяет направление и интенсивность развития экскавации ДЗН при глаукоме [23].

В области РП имеются многочисленные сосуды, которые отходят от задних коротких цилиарных артерий (ЗКЦА) и круга Цинна — Галлера, участвующих в кровоснабжении переднего отдела ЗН. Эти сосуды сопровождаются глиальными клетками и склеральной соединительной тканью. В толще РП расположены центральная артерия (ЦАС) и центральная вена (ЦВС) сетчатки, окруженные соединительной тканью с многочисленными тонкими вегетативными нервными волокнами, направленными к ДЗН. Результаты гистологического исследования S. Hayreh [15] показали, что более крупные нервные волокна плотно прилегают к стенке сосудов, так же как в преламинарной зоне.

В интраокулярной части волокна ЗН, представляющие собой отростки ГКС, лишены миелиновой оболочки, они получают ее по выходе за РП и далее сохраняют ее на всем протяжении нерва, за счет чего происходит значительное увеличение толщины ЗН: от 1,5 (диаметр интраокулярной части) до 4,5–5,0 мм (диаметр интраорбитальной части).

Интраорбитальная (ретроламинарная) часть ЗН идет от глазного яблока до зрительного канала и составляет около 3 см. В интраорбитальной части ЗН покрывают три мозговые оболочки: твердая (dura mater), паутинная (arachnoidea) и мягкая (pia mater). В пределах орбиты ЗН имеет S-образный изгиб, так как общая длина этой части больше, чем прямое расстояние от задней поверхности глазного яблока до вершины орбиты. Это обстоятельство обеспечивает возможность движений глаза без натяжения ЗН. Длина интраорбитального участка может быть увеличена, что допускает вероятность вывиха глазного яблока из орбиты без повреждения нерва. Подобные уникальные случаи описаны в литературе М.И. Авербахом (1946), Пуило (1950) и другими [цит. по 24]. Однако при смещении глаза за пределы глазной щели может происходить травматизация ЗН, патологические изменения экстраокулярных мышц и структур глаза [21].

В интраорбитальной части мягкая мозговая оболочка тесно связана с паренхимой ЗН. Эта часть ЗН включает грубые соединительнотканые перегородки (септы), содержащие кровеносные сосуды, располагающиеся вблизи ЦАС и ЦВС в продольном и поперечном направлении. Продольные фиброзные перегородки прочно прикреплены к задней поверхности РП, их волокна легко отличить от глии по извилистому характеру. Поперечные соединительнотканые перегородки прикреплены к мягкой мозговой оболочке и фиброзной оболочке, окружающей ЦАС и ЦВС. Кроме того, эти перегородки образуют довольно сложную сообщающуюся полигональную трубчатую структуру и включают в себя пучки нервных волокон, внутри которых располагаются продольные ряды элементов олигодендроглии с короткими протоплазматическими отростками, пропитанными цитоплазмой [8]. Олигодендроглия является одной из составляющих структурных элементов миелиновой оболочки и образует своеобразную сеть, практически достигающую границы РП. Среди нервных волокон располагаются тонкие разветвленные клетки микроглии.

Секционное исследование анатомии оболочек ЗН и их сообщений с полостью черепа проводил S. Hayreh [15] на кадаверных глазах человека, а также у животных (макаки-резусы и кролики). Твердая и паутинная оболочки в норме рыхло спаяны между собой, субарахноидальное пространство наиболее выражено в ретробульбарной части ЗН. В зрительном канале нерв соединен с окружающей твердой и мягкой мозговой оболочкой толстыми фиброз-

ными тяжами, в зоне которых нервная ткань и паутинная оболочка не визуализируются (перехваты Ранвье). В эксперименте обнаружено, что характеристики оболочек ЗН у кроликов отличались от таковых у человека отсутствием перехватов Ранвье.

Межоболочечные пространства орбитальной части нерва (субдуральное и субарахноидальное) соединяются с аналогичными пространствами головного мозга, но изолированы друг от друга. Направление тока жидкости, заполняющей эти пространства, совпадает с градиентом давления: внутриглазное давление (ВГД) в норме почти в 2 раза превышает внутричерепное давление (ВЧД). Исключение составляют случаи, когда существенно увеличивается ВЧД (опухоль головного мозга, внутричерепное кровоизлияние) или, наоборот, резко снижается ВГД. Субдуральное пространство ЗН имеет вид очень узкой неравномерной щели, ее просвет заполнен переплетающимися трабекулами. Субарахноидальное пространство шире субдурального и включает сложную систему соединительнотканых септ между мягкой и паутинной оболочками, ликвороносных каналов и субарахноидальных ячеек [8, 25, 26]. Установлено, что именно повышение ВЧД в интраорбитальной части ЗН вызывает его отек при внутричерепной гипертензии (ВЧГ) [15].

Интраканаликулярная часть ЗН отграничена отверстиями зрительного канала, ее длина составляет около 1,0 см. В костном зрительном канале к ЗН прилежит глазная артерия, которая располагается обычно снизу и снаружи, частично между двумя листками твердой мозговой оболочки [15]. В отличие от интраорбитальной части, в зрительном канале существуют многочисленные толстые фиброзные тяжи, соединяющие твердую и мягкую мозговые оболочки. Эти тяжи прочно удерживают ЗН в этой области, здесь твердая оболочка срастается с надкостницей.

В интраканаликулярной части субарахноидальное пространство сужается практически до размера капилляра и прерывается в зоне тяжей. Поэтому межоболочечное пространство приобретает характер трабекулярной сети тесно связанных волокон. Выпуклый вид твердой оболочки в норме ряд авторов объясняют влиянием ВЧД [15]. Однако это невозможно, поскольку твердая мозговая оболочка, состоящая из прочных коллагеновых волокон, не способна к растяжению независимо от количества спинномозговой жидкости.

В экспериментальном исследовании S. Naureh [15] при моделировании окклюзии различных глазных сосудов у 400 обезьян наблюдал расширение межоболочечного пространства ЗН. Архитектоника оболочек в области зрительного канала играет решающую роль в динамике передачи ликворного давления из полости черепа в область ЗН. Вероятно, этим можно объяснить расширение оболочек и утолщение ЗН при его ишемическом поражении.

Интракраниальная часть ЗН имеет достаточно варибельную длину — от 4 до 17 мм. После потери в костном канале твердой оболочки нерв покрывают лишь 2 оболочки. После выхода

из зрительного канала ЗН лежит над глазной артерией и несколько кнаружи внутренней сонной артерии. Снизу к ЗН прилегают решетчатый лабиринт и клиновидная пазуха. Над ЗН располагается нижняя поверхность лобной доли мозга, обонятельный тракт, передняя мозговая артерия и передняя соединительная артерия. В полости черепа зрительные нервы соединяются над областью турецкого седла, образуя хиазму. В области хиазмы волокна ЗН, идущие от носовой половины сетчатки, перекрещиваются с аналогичными волокнами противоположной стороны и переходят на контрлатеральную сторону, соединяясь с волокнами от височных половин сетчатки парного глаза и образуя зрительный тракт. Здесь частично перекрещиваются папилломакулярные пучки. Протяженный интракраниальный отдел ЗН может подвергаться воздействию со стороны прилежащих патологических структур, таких как аденома гипофиза и аневризмы интракраниальных сосудов.

Кровоснабжение ЗН до сих пор остается не до конца изученным, в особенности анатомия микроциркуляции переднего отдела ЗН и перипапиллярной области. Маленький калибр сосудов, сложная трехмерная ангиоархитектоника и относительная недоступность тканей для исследования — все это затрудняет изучение васкуляризации этой зоны. Кровоснабжение различных участков ЗН осуществляется дифференцированно (рис. 3).

Поверхностный слой нервных волокон питается за счет артериол — ветвей ретинальных артерий. Эти мелкие сосуды, получившие название эпипапиллярных сосудов, появляются перипапиллярно в слое нервных волокон и направляются к центру ДЗН. Височная часть нервных волокон может получать дополнительно кровь из цилиоретинальной артерии. Кровоснабжение этой области из хориоидеи или хориокапилляров не наблюдается.

Преламинарная часть в основном получает кровь из системы ЗКЦА и ветвей, отходящих от круга Цинна — Галлера, который представляет собой интрасклеральные

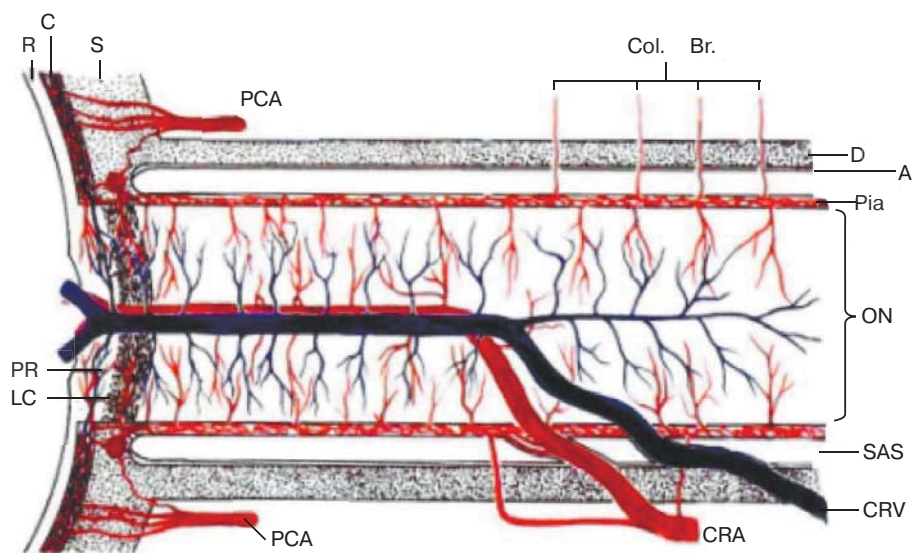


Рис. 3. Схема кровоснабжения зрительного нерва: А — паутинная оболочка, С — хориоидея, CRA — центральная артерия сетчатки, CRV — центральная вена сетчатки, D — твердая мозговая оболочка, LC — решетчатая пластинка, ON — зрительный нерв, PCA — задние цилиарные артерии, PR — преламинарная зона, R — сетчатка, S — склера, SAS — субарахноидальное пространство, Col. Br. — коллатеральные сосуды [15]

Fig. 3. Schematic representation of blood supply of the optic nerve. A — arachnoid, C — choroid, CRA — central retinal artery, Col. Br. — collateral branches, CRV — central retinal vein, D — dura, LC — lamina cribrosa, ON — optic nerve, PCA — posterior ciliary arteries, PR — prelaminar region, R — retina, S — sclera, SAS — subarachnoid space [15]

артериоларные анастомозы вокруг ДЗН. От сплетения Цинна — Галлера отходят многочисленные перфорирующие ветви, расходящиеся в преламинарной части и идущие к перипапиллярной хориоидеи и ретроламинарной мозговой оболочке. Прямое кровоснабжение преламинарной части из хориоидеи минимально. Несколько мелких центрипетальных артерий и артериол ответвляются от более крупных сосудов перипапиллярной хориоидеи, однако прямой связи между перипапиллярной хориоидеей и преламинарной частью не существует [15].

Кровоснабжение РП осуществляется ветвями ЗКЦА и артериолами, отходящими от круга Цинна — Галлера. Эти сосуды перфорируют наружные слои РП до разветвления на интрасептальные капилляры. Вероятно, существует дополнительное питание со стороны перипапиллярной хориоидеи. Мягкая мозговая оболочка имеет обильное сосудистое сплетение (пиальное), образованное ветвями глазной артерии, кровоснабжающими ЗН. В области твердой мозговой оболочки также имеются сосуды, но их значительно меньше по сравнению с мягкой мозговой оболочкой.

Интраорбитальная часть получает кровоснабжение из двух источников: ЦАС и артериол из сплетения мягкой мозговой оболочки, которое является сетью анастомозов и происходит из круга Цинна — Галлера или напрямую из системы ЗКЦА. ЦАС может давать несколько мелких интраневральных ветвей в ретроламинарной части ЗН, некоторые из них анастомозируют с сосудистой системой мягкой мозговой оболочки [27].

Интраканаликулярная часть в основном снабжается кровью из периферической центрипетальной системы, образованной коллатеральными ветвями глазной артерии (ГА), и частично от ветвей интраорбитальной и «хиазмальной» частей ГА. В чистом виде пиальное сплетение в интраканаликулярной части не обнаружено, имеются сведения о наличии анастомозов между ветвями ГА на поверхности ЗН и между интраневральными ветвями внутри ЗН [28].

Интракраниальная часть кровоснабжается из пиальной сосудистой сети, образованной различным количеством ветвей, идущих от других близкорасположенных вокруг ЗН артерий, включая верхнюю гипофизарную артерию, переднюю мозговую артерию, переднюю соединительную артерию и ГА [15].

Таким образом, информация об анатомическом строении ЗН и его кровоснабжении имеет существенное значение для изучения патогенеза поражений ЗН. Клинические проявления патологических процессов обусловлены особенностями структурных характеристик ЗН. Различные типы дефектов полей зрения связаны с топографией поражения определенных участков ЗН при ишемических, воспалительных и демиелинизирующих поражениях [29]. Система кровоснабжения интраокулярного и ретробульбарного отделов ЗН различная, это объясняет факт их изолированного поражения и развития ПИОН и задней ишемической оптической нейропатии. Несмотря на многочисленные исследования, целый ряд вопросов, касающихся структурных особенностей ЗН, остается нерешенным. В настоящее время использование высокоинформативных методов визуализации ДЗН (оптическая когерентная томография (ОКТ), ОКТ в ангиорежиме, гейдельбергская ретинотомография (НРТ), лазерная доплеровская флоуграфия) и ретробульбарного отдела ЗН (ультразвуковые исследования, компьютерная и магниторезонансная томография) с оценкой интраокулярного и ретробульбарного кровотока позволяют улучшить диагностику и оценить эффективность новых подходов к лечению патологии ЗН.

Литература/References

1. Гайваронский И.В., Ничипорук Г.И. Клиническая анатомия сосудов и нервов. 11-е издание, переработанное и дополненное. Издательство: ЭЛБИ-СПб. 2021. [Gaivaronsky I.V., Nichiporuk G.I. Clinical anatomy of blood vessels and nerves. 11th edition. Publisher: ELBI-SPb. 2021 (In Russ.).]
2. Шеримбетов Н.А., Удербаяев Д.У., Каракул Ы.А., Мейманкулов Х.М. Возрастные особенности морфометрических параметров и гистоструктуры внутриорбитальной части зрительного нерва. *Офтальмологический журнал Казахстана*. 2013; 2–3 (43): 98–100. [Sherimbetov N.A., Uderbaev D.U., Karakul Y.A., Meimankulov H.M. Age-related features of morphometric parameters and histostucture of the intraorbital part of the optic nerve. *Ophthalmological journal of Kazakhstan*. 2013; 2–3 (43): 98–100 (In Russ.).]
3. Касымова М.С. Анатомические особенности диска зрительного нерва. *РМЖ Клиническая офтальмология*. 2001; 3: 111–3. [Kasymova M.S. Anatomical features of the optic nerve disc. *Clinical Ophthalmology*. 2001; 3: 111 (in Russ.).]
4. Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. Москва: Медицина; 1999. [Shamshinova A.M., Volkov V.V. Functional research methods in ophthalmology. Moscow: Meditsina; 1999 (In Russ.).]
5. Jonas JB, Gusek GC, Naumann GO. Optic disc, cup and neuroretinal rim size, configuration and correlations in normal eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1988 Jul; 29 (7): 1151–8. PMID: 3417404.
6. Нестеров А.П. Глаукома. Москва: Медицина; 2014. [Nesterov A.P. Glaucoma. Moscow: Meditsina; 2014 (in Russ.).]
7. Сомов Е.Е. Клиническая анатомия органа зрения человека. 3-е изд., переработанное и дополненное. Москва: МЕДпресс-информ; 2005. [Somov E.E. Clinical anatomy of the human eye. 3rd edition. Moscow: MEDpress-inform; 2005 (In Russ.).]
8. Петров С.Ю. Анатомия глаза и его придаточного аппарата. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2003. [Petrov S.Yu. Anatomy of the eye and adnexa. Moscow: GEOTAR-Media, 2003 (In Russ.).]
9. Астахов Ю.С., Даль Г.А., Лапин В.В. и др. Поражение органа зрения при латентном течении болезни Хортона. *Офтальмологические ведомости*. 2010; 3 (4): 75–8. [Astakhov Yu.S. Dahl G.A., Lapin V.V., et al. Damage to the organ of vision in the latent course of Horton's disease. *Oftalmologicheskie vedomosti*. 2010. 3 (4): 75–8 (In Russ.).]
10. Hayreh SS. Management of non-arteritic anterior ischemic optic neuropathies. *Ischemic Optic Neuropathies*. 2011: 389–415. https://doi.org/10.1007/978-3-642-11852-4_17
11. Шеремет Н.Л., Смирнова Т.В., Ронзина И.А. и др. Анализ структуры, причин и факторов риска развития ишемической оптической нейропатии. *Вестник офтальмологии*. 2017; 133 (6): 50–8. [Sheremet N.L., Smirnova T.V., Ronzina I.A., et al. Analysis of structure, causes, and risk factors of ischemic optic neuropathy. *Vestnik oftal'mologii*. 2017; 133 (6): 50–8 (In Russ.).] <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133650-58>
12. Purvin V, King R, Kawasaki A, Yee R. Anterior ischemic optic neuropathy in eyes with optic disc drusen. *Arch Ophthalmol*. 2004; 122: 48–53. <https://doi.org/10.1001/archophpt.122.1.48>
13. Salazar JJ, Ramhrez A I, De Hoz R, et al. Anatomy of the human optic nerve: Structure and function. *Optic nerve*. 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79827>
14. Anderson DR. Ultrastructure of the optic nerve head. *Arch Ophthalmol*. 1970; 83 (1): 63–73. <https://doi.org/10.1001/archophpt.1970.00990030065013>
15. Hayreh SS. Ischemic optic neuropathies. Springer Verlag Berlin Heidelberg. 2011.
16. Wolter JR. The human optic papilla; a demonstration of new anatomic and pathologic findings. *Am J Ophthalmol*. 1957. 44 (4; 2): 48–65. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(57\)90432-4](https://doi.org/10.1016/0002-9394(57)90432-4)
17. Hogan MJ, Alvarado JA, Weddell JE. Histology of the human eye. An Atlas and Textbook. Philadelphia: Saunders; 1971.
18. Bron AJ, Tripathi RC, Tripathi BJ. Wolff's Anatomy of the Eye and Orbit. ed 8, chapt. 6: The Eyeball and Its Dimensions. London, Chapman & Hall Medical, 1997.
19. Quigley HA, Addicks EM. Regional differences in the structure of the lamina cribrosa and their relation to glaucomatous optic nerve damage. *Archives of ophthalmology*. 1981. 99 (1): 137–43. <https://doi.org/10.1001/archophpt.1981.03930010139020>
20. Hernandez MR, Luo XX, Igoe F, Neufeld AH. Extracellular matrix of the human lamina cribrosa. *Am J Ophthalmol*. 1987; 104 (6): 567–76. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(87\)90165-6](https://doi.org/10.1016/0002-9394(87)90165-6)
21. Hernandez MR, Luo XX, Andrejewska W, Neufeld AH. Age-related changes in the extracellular matrix of the human optic nerve head. *Am J Ophthalmol*. 1989; 107: 476–84. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(89\)90491-1](https://doi.org/10.1016/0002-9394(89)90491-1)
22. Wolff E, Penman G. The position occupied by the peripheral retinal fibres in the nerve-fibre layer and at the nerve head. *Acta Concilium Ophthalmol*. 1951; 16: 625–35.

23. Radius RL, Gonzales M. Anatomy of the lamina cribrosa in 44 human eyes. *Arch Ophthalmol*. 1981; 99 (12): 2159–62. <https://doi.org/10.1001/archophth.1981.03930021035010>
24. Краснов М.Л. Элементы анатомии в клинической практике офтальмолога. Москва: Медгиз, 1952. [Krasnov M.L. Elements of anatomy in the clinical practice of an ophthalmologist. Moscow: Medgiz, 1952 (In Russ.)].
25. Sasaki CT, Lombardo JC. Traumatic proptosis. *Arch Ophthalmol*. 1971; 86 (2): 237–8. <https://doi.org/10.1001/archophth.1971.01000010239019>
26. Гусева Ю.А. Анатомия межболоочечных пространств внутриканальной части зрительного нерва человека. *Медицинский журнал*. 2005; 1 (11): 35–7. [Guseva Yu.A. Anatomy of the intervertebral spaces of the intracanal part of the human optic nerve. *Medical journal*. 2005; 1 (11): 35–7 (In Russ.)].
27. Нероев В.В., Киселева Т.Н., ред. Ультразвуковые исследования в офтальмологии: руководство для врачей. 1-е изд. Москва: ИКАР; 2019: 251–86. [Neroev V.V., Kiseleva T.N. Ultrasound in Ophthalmology: A Guide for Physicians. Moscow: IKAR. 2019: 251–86 (In Russ.)].
28. Machado LF, Furlanetto RL, Gracitelli CPB. Anatomy and evaluation of the optic nerve head. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*. 2022; 85 (6): 636–43. <https://doi.org/10.5935/0004-2749.20220080>
29. Густов А.В., Сигрианский К.И., Столярова Ж.П. Практическая нейроофтальмология. Том 2. Нижний Новгород: НГМА; 2003. [Gustov A.V., Sigriansky K.I., Stolyarova Zh.P. Practical neuroophthalmology. V2. Nizhny Novgorod: NGMA; 2003 (In Russ.)].

Вклад авторов в работу: Т.Н. Киселева — руководство проектом, научное редактирование статьи; А.В. Баева — сбор и анализ литературных источников, написание статьи; Е.К. Елисеева, К.В. Луговкина — редактирование статьи.

Authors' contribution: T.N. Kiseleva — project administration, science editing; A.V. Baeva — literature data collection and analysis, writing of the article; E.K. Eliseeva, K.V. Lugovkina — editing of the article.

Поступила: 12.02.2023. Переработана: 18.02.2023. Принята к печати: 19.02.2023

Originally received: 12.02.2023. Final revision: 18.02.2023. Accepted: 19.02.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Дегагетская, д. 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

Татьяна Николаевна Киселева — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела, главный научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований¹, ORCID 0000-0002-9185-6407

Елена Константиновна Елисеева — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований¹, ORCID 0000-0002-8099-592X

Ксения Вадимовна Луговкина — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований¹, ORCID 0000-0002-3531-3846

Алена Витальевна Баева — аспирант кафедры глазных болезней², ORCID 0000-0003-2073-7627

Для контактов: Елена Константиновна Елисеева, eliseevaek@ya.ru

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² Evdokimov Moscow State Medical Stomatological University of Medicine and Dentistry, 20/1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia

Tatiana N. Kiseleva — Dr. of Med. Sci., professor, head of ultrasound diagnostic department¹, ORCID 0000-0002-9185-6407

Elena K. Eliseeva — Cand. of Med. Sci., researcher, ultrasound diagnostic department¹, ORCID 0000-0002-8099-592X

Kseniya V. Lugovkina — Cand. of Med. Sci., researcher, ultrasound diagnostic department¹, ORCID 0000-0002-3531-3846

Alena V. Baeva — PhD student, chair of ophthalmology², ORCID 0000-0003-2073-7627

Contact information: Elena K. Eliseeva, eliseevaek@ya.ru