

## ЦИЛИАРНОЕ ТЕЛО ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА ЧЕЛОВЕКА – АНАЛОГ ГАЗОВОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПЛАВАТЕЛЬНОГО ПУЗЫРЯ КОСТИСТЫХ РЫБ

Марков И.И., Ткаченко С.С., Маркова В.И., Волов Н.В.

Медицинский университет РЕАВИЗ, Самара, Россия, e-mail: morpholetter@yandex.ru

### Для цитирования:

Марков И.И., Ткаченко С.С., Маркова В.И., Волов Н.В. Цилиарное тело глазного яблока человека – аналог газовой железы плавательного пузыря костистых рыб. *Морфологические ведомости*. 2024;32(2):890. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2024.32\(2\).890](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2024.32(2).890)

**Резюме.** Роль цилиарного тела как газовой железы в процессе образования внутриглазной жидкости изучена недостаточно. Цель работы: произвести сопоставление морфологии ресничного тела глазного яблока человека и газовой железы плавательного пузыря костистых рыб для установления их структурно-функциональной аналогии. Изучены плавательные пузыри костистых рыб, карпа (*Cyprinus carpio* L., n=7) и судака (*Lucioperca lucioperca* L., n=7). Для исследования инъецировались физиологический раствор, раствор азотнокислого серебра и 1% раствор гидрохинона через хвостовую артерию в суправитальных условиях. После этого плавательные пузыри извлекались, растягивались на восковых пластинках, фиксировались в 10% формалине и заливались в парафиновые блоки. Серийные срезы толщиной 4–5 мкм окрашивались гематоксилином и эозином, по Ван Гизон, железным гематоксилином Вейгерта, по Маллори, орсеином и резорцином. В результате исследования установлено, что плавательные пузыри открытопузырных рыб (карпа) осуществляют газообмен с помощью так называемого «овала», а закрытопузырных рыб (судака) – с помощью «овала» и газовой железы. «Овал» - образование овальной формы, находится на внутренней поверхности дорсального отдела плавательного пузыря рыб и выделяется при визуальном осмотре кровеносными сосудами. В области газовой железы находится плотное скопление кровеносных сосудов, от крупных артерий и вен до обменных микрососудов, включая капилляры. В образовании «овала» участвует большое количество кровеносных сосудов, в большинстве случаев это микрососуды, они располагаются тонкой пластинкой по всей его площади. Газовая железа образована эпителиоцитами, оплетенными многочисленными кровеносными микрососудами. Указанные сосудистые структуры рыб аналогичны сосудистым конструкциям цилиарного тела глазного яблока человека – продуцента внутриглазной жидкости, они сформированы по принципу противоточных обменников газовых желез пузырями костистых рыб. На основании полученных данных можно сделать заключение о том, что цилиарное тело глазного яблока человека является аналогом газовой железы плавательного пузыря костистых рыб.

**Ключевые слова:** *глаз человека, цилиарное тело, костистые рыбы, газовая железа, плавательный пузырь*

Статья поступила в редакцию 28 августа 2024  
Статья принята к публикации 18 октября 2024

## THE HUMAN EYEBALL CILIARY BODY IS AN ANALOGUE OF THE BONY FISHES SWIMMING BLADDER GAS GLAND

Markov II, Tkachenko SS, Markova VI, Volov NW

REAVIZ Private Medical University, Samara, Russian Federation, e-mail: morpholetter@yandex.ru

### For the citation:

Markov II, Tkachenko SS, Markova VI, Volov NW. The human eyeball ciliary body is an analogue of the bony fishes swimming bladder gas gland. *Morfologicheskie Vedomosti – Morphological newsletter*. 2024;32(2):890. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2024.32\(2\).890](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2024.32(2).890)

**Summary.** The role of the ciliary body as a gas gland in the formation of intraocular fluid has not been sufficiently studied. The aim of the work was to compare the morphology of the ciliary body of the human eyeball and the gas gland of the swim bladder of bony fish to establish their structural and functional analogy. The swimming bladders of bony fish, carp (*Cyprinus carpio* L., n=7) and pike-perch (*Lucioperca lucioperca* L., n=7) were studied. For the study, physiological saline, silver nitrate solution and 1% hydroquinone solution were injected through the caudal artery under supravital conditions. After that, the swimming bladders were removed, stretched on wax plates, fixed in 10% formalin and poured into paraffin blocks. Serial sections 4–5 μm thick were stained with hematoxylin and eosin according to Van Gieson, Weigert's iron hematoxylin, Mallory's, orcein and resorcinol. The study established that the swimming bladders of open-bladder fish (carp) exchange gases using the so-called «oval», while those of closed-bladder fish (pike-perch) use the «oval» and the gas gland. The «oval» is an oval-shaped formation located on the inner surface of the dorsal section of the swimming bladder of fish and is distinguished by blood vessels upon visual inspection. In the area of the gas gland, there is a dense cluster of blood vessels, from large arteries and veins to exchange micro-vessels, including capillaries. A large number of blood vessels participate in the formation of the «oval», in most cases these are micro-vessels, they are located in a thin plate over its entire area. The gas gland is formed by epithelial cells, entwined with numerous blood micro-vessels. The above-mentioned vascular structures of fish are similar to the vascular structures of the ciliary body of the human eyeball, the producer of intraocular fluid; they are formed according to the principle of countercurrent exchangers of the gas glands of the bladders of bony fish. Based on the data obtained, it can be concluded that the ciliary body of the human eyeball is an analogue of the gas gland of the swimming bladder of bony fish.

**Keywords:** *human eye, ciliary body, bony fish, gas gland, swimming bladder*

Article received 28 August 2024  
Article accepted 18 October 2024

**Введение.** Глазные яблоки человека исключительно перегреваемые тепловой энергией органы, функционирующие в экстремальных условиях. Это связано, прежде всего, с тем, что они исторически формировались в среде солнечного света и в неограниченном зрительном пространстве. Поток энергии светового излучения, поступающий в глазные яблоки приблизительно равен 3-10 Вт. При этом, склера только отражает световой поток, а стекловидное тело, будучи абсолютно прозрачным, практически не поглощает его энергию. И только пигментный слой сетчатки утилизирует около 36 % мощности всей световой энергии, поступающей в глазные яблоки. В этих условиях неизбежно должна повышаться температура в зоне сетчатки, на которой фиксируются изображения. Расчеты показывают, что она может повышаться чрезвычайно быстро, со скоростью 0,1 градус в секунду [1]. Совершенно очевидно, что должна существовать достаточно эффективная система охлаждения глазных яблок и содержимого глазниц. Так, слезная жидкость, при интенсивном ее испарении, охлаждает передний отдел глазных яблок, глазниц, полость носа и ее придаточные пазухи и выполняет для глазных яблок функцию «биологического холодильника», аналогичную мушкетеру по отношению к яичкам [2-4].

Однако, в глазницах и в глазных яблоках его работа не может длительно поддерживать температуру на 2-3°C ниже температуры тела. Работа «биологического холодильника» могла бы быть эффективной только в том случае, если бы его площадь составляла 1,6 м<sup>2</sup>, то есть была бы примерно равна площади поверхности тела человека [2]. Следовательно, в охлаждении глазных яблок и содержимого глазниц принимают участие и другие анатомические структуры. Какие именно? По некоторым данным, это, прежде всего, интракраниальные отделы внутренних сонных артерий и кавернозные синусы твердой мозговой оболочки [5]. Именно они формируют противоточные теплообменники, функционирующие по типу семенных канатиков, способных защитить сетчатку, как одну из самых энер-

гоемких биологических тканей, от термического поражения и выгорания ее пигментного защитного слоя [5]. Между тем, для глазных яблок, как для органов преобразующих тепловую и световую формы энергии в биологические сигналы, необходимы еще более надежные глубокие системы постоянного охлаждения и отвода тепла. Могут ли выполнять эту функцию цилиарные тела глазных яблок?

Цилиарное тело – это утолщенный, расположенный в виде валика передний отдел сосудистой оболочки глазного яблока. Задний край цилиарного тела образует цилиарный кружок, переходящий в сосудистую оболочку. Кпереди от цилиарного кружка цилиарное тело имеет 70 тонких, расположенных радиально цилиарных отростков (цит. по [6], с. 639). Это – секреторный отдел цилиарного тела, аналог сосудистого сплетения желудочков головного мозга. Второй отдел цилиарного тела – аккомодационный, образован цилиарной мышцей. Она, в свою очередь, состоит из четырех типов мышечных волокон – меридиональных (мышца Брюкке), радиальных или косых (мышца Иванова), циркулярных (мышца Мюллера) и иридиальных (мышца Калазанса) [7-8]. Совместная работа этих мышц обеспечивает процесс аккомодации. Микрососудистое русло цилиарного тела – это единственный участок сосудистой оболочки, сформированный только микрососудами: 1) артериолами диаметром менее 100 мкм; 2) прекапиллярами; 3) капиллярами и 4) посткапиллярами [9]. Поскольку разница в показателях систолического и диастолического давления в этих микрососудах чрезвычайно мала, то давление в артериолах не превышает 40 мм рт. ст., а в капиллярах 15-35 мм рт. ст. При этом, объемная плотность микрососудов в цилиарном теле составляет 19± 2,5 мкм<sup>3</sup>, интерстиция – 20,5±2,1 мкм<sup>3</sup>, а гладких миоцитов – 47±5,2 мкм<sup>3</sup> [7]. Отростки цилиарного тела, содержащие фибробласты, тканевые базофилы и макрофаги, покрыты двухслойным цилиарным эпителием, пигментным и непигментным. Он, в свою очередь, отделен от стромы цилиарных отростков и задней камеры глазного яблока наружной и внутренней

базальными мембранами [10]. Внутриглазная жидкость (далее - ВГЖ), с одной стороны, это ультрафильтрат плазмы крови, поступающей из широких фенестрированных капилляров цилиарного тела [11]. И поэтому, концентрация веществ в ней должна находиться в корреляционных соотношениях с плазмой крови. С другой стороны, вещества с осмотической активностью, находящиеся в ультрафильтрате, участвуют в секреции дополнительного объема ВГЖ [12]. В итоге, средняя скорость образования ВГЖ составляет около 2,0 мм<sup>3</sup>/мин, а период ее обновления – 90 мин [13]. При этом, через переднюю камеру глазного яблока за сутки проходит до 2 л ВГЖ при коэффициенте  $F=2,0$  мм<sup>3</sup>/мин [14]. Вновь образованная ВГЖ является более теплой, вновь секретированной, а выработанная в результате обменных процессов во внутренних средах глазного яблока ВГЖ – более холодной [15]. Теплая фракция ВГЖ задерживается в задней камере на определенное время, после чего она, за счет конвекции, проникает во все среды глазного яблока и участвует в обменных процессах [16]. Таким образом, процесс образования ВГЖ является прерывистым и обеспечивается так называемым «склеральным» дыханием [15-16]. Большая часть прозрачных структур глазного яблока – роговица, хрусталик, стекловидное тело, не имеют собственных кровеносных микрососудов и обеспечиваются кислородом, растворенным в ВГЖ.

**Цель исследования:** произвести сопоставление морфологии ресничного тела глазного яблока человека и газовой железы плавательного пузыря костистых рыб для установления их структурно-функциональной аналогии.

**Материалы и методы исследования.** В работе использовались плавательные пузыри только что выловленных рыб: открытопузырных карпов (n=17) и закрытопузырных судаков (n=17). Для идентификации кровеносного русла плавательных пузырей был использован внутрисосудистый метод импрегнации по Ранвье-Гойеру. Вводились следующие растворы: 1) физиологический; 2) слабый азотнокислого серебра; 3) 1% гидрехинона. Инъек-

ции осуществлялись через хвостовую артерию в суправитальных условиях. После этого плавательные пузыри извлекались и растягивались на восковых пластинках, фиксировались в 10% метанолевом формалине (3–5 суток), разрезались на фрагменты и заливались в парафиновые блоки. Серийные срезы толщиной 4–5 мкм окрашивались гематоксилином и эозином, по Ван Гизон, железным гематоксилином Вейгерта, по Маллори, орсеином и резорцином. Кроме парафиновых срезов были изготовлены тотальные пленочные препараты (n=9).

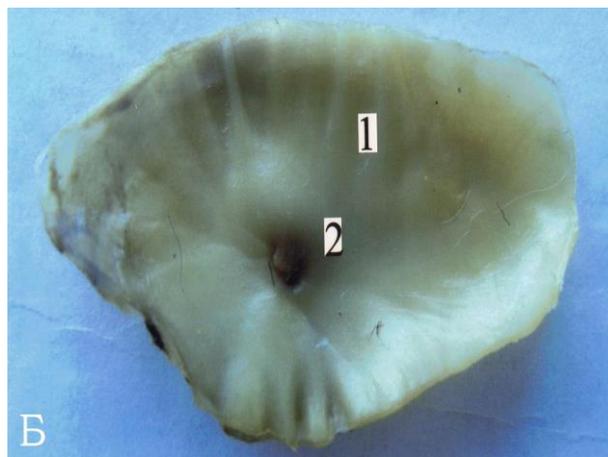
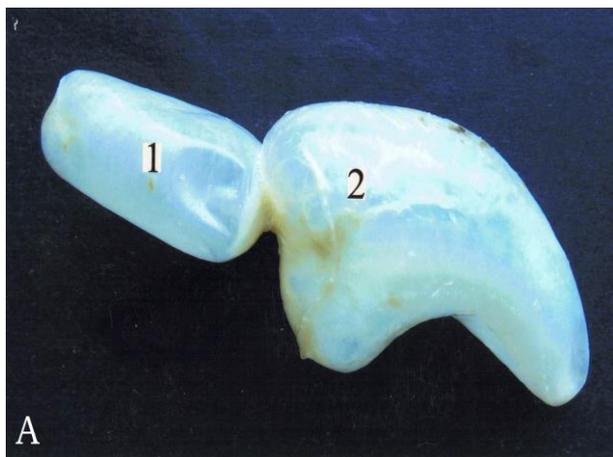
**Результаты и обсуждение.** Плавательный пузырь является производным дорсальной стенки пищевода. Он имеется у ганоидных и большинства костистых рыб. У судака тонкий канал (ductus pneumaticus), соединяющий плавательный пузырь с передним отделом пищевода в эмбриогенезе, во взрослом состоянии отсутствует. Судак является представителем закрытопузырных рыб. У них закрытие дыхательного протока происходит после вылупления личинки и заглатывания ею пузырька воздуха. Появление плавательного пузыря у костистых рыб связано с формированием у них костного скелета, увеличивающего их удельный вес. Акулы не имеют плавательного пузыря, поскольку они имеют легкий хрящевой скелет, а у глубоководных океанских рыб плавательный пузырь не жизнеспособен. У карпа плавательный пузырь имеет две камеры, различных по объему и соединенных между собой узким каналом (рис. 1).

Пузырь покрыт брюшиной и фиксирован брыжейкой к дорсальной поверхности тела карпа. По внешнему виду пузырь – белый, блестящий и полупрозрачный. Стенка его тонкая, гибкая и малопроницаема для воздуха и непроницаема для воды. Она состоит из 4-х оболочек: 1) слизистой; 2) мышечной; 3) серозной и 4) подслизистой основы. Слизистая оболочка передней камеры плавательного пузыря выстлана однослойным плоским эпителием полигональной формы с округлым или паукообразным ядром. В отдельных участках слизистой оболочки эпителиоциты образуют своеобразные натёки и наслаиваются в виде черепицы. Под эпи-

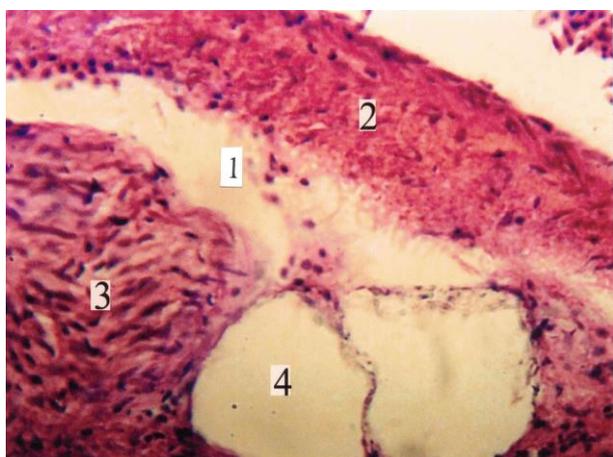
телием находится слой очень тонких коллагеновых волокон, образующих, расположенный снаружи, слой параллельных коллагеновых пластин, окрашивающихся в ярко-синий цвет по Маллори. На вентральной поверхности пузыря расположен продольный тяж гладких миоцитов, следующий в косом направлении к его длинной оси. Слизистая и мышечная оболочки передней камеры пузыря составляют его внутренний слой. Наружный слой образуют подслизистая основа и адвентициальный слой. Особенностью подслизистой основы является наличие в ней воздухоносных ячеек, различных по объему и форме, и отделенных друг от друга соединительнотканными перегородками (рис. 2). Стенка задней камеры плавательного пузыря карпа представлена: 1) слизистой оболочкой, образованной однослойным плоским эпителием и двумя слоями соединительной ткани; 2) мышечной оболочкой, состоящей из 2-х мышечных тяжей и 3) рыхлой соединительной тканью – адвентициальной оболочкой. Микрососудистое русло более плотное в задней камере на ее вентральной поверхности. Плавательный пузырь судака – однокамерный, состоит из 2-х оболочек, легко отделяющихся друг от друга. Наружная оболочка – толстая, фиброзная, внутренняя – тонкая, прозрачная. В передней трети вентральной внутренней поверхности пузыря находятся от 6 до 9 плотных, выступающих бляшек красного цвета. Они формируют «красное тело» или газовую железу.

На внутренней поверхности дорсального отдела пузыря находится другое образование овальной формы – так называемый «овал», выделяющийся при визуальном осмотре кровеносными сосудами. В области газовой железы находится плотное скопление кровеносных сосудов от крупных артерий и вен до обменных микрососудов, включая и капилляры. Большое количество кровеносных сосудов участвует и в образовании «овала», но это, в большинстве случаев, микрососуды, располагающиеся тонкой пластинкой по всей его площади. Газовая железа образована

эпителиоцитами, разнообразными по форме, но оплетенными многочисленными кровеносными микрососудами. Эпителиоциты расположены в форме балок или тяжей, образующих от 3-х до 20-ти слоев. Большинство эпителиоцитов имеет по одному ядру, но встречаются и многоядерные клетки, имеющие до 8-и и более ядер. Нередко встречаются гигантские эпителиоциты, превосходящие в несколько раз по площади обычный эпителиоцит. Между рядами эпителиоцитов находится плотная сеть кровеносных микрососудов, оплетающих отдельные эпителиоциты или отдельные их группы. Многочисленные микрососуды, находящиеся между рядами эпителиоцитов, подходят и непосредственно к плоскому эпителию, покрывающему железу со стороны просвета пузыря. На поперечном срезе микрососудистые структуры, подходящие к эпителиоцитам, выглядят как пчелиные соты с многочисленными ячейками. «Овал» окрашен каймой, образованной из гладких миоцитов, а его внутреннюю поверхность выстилает однослойный плоский эпителий. «Овал» формируется не только у закрытопузырных рыб, но и у открытопузырных, в том числе и у двоякодышащих карповых рыб. Он находится на внутренней поверхности стенки передней камеры плавательного пузыря карпа, но после снятия брюшины становится видимым снаружи (рис. 3). Он, так как у судака, включает в себя 7–9 обособленных, макроскопические видимых округлых образований, основа которых сформирована оригинальными сосудистыми конструкциями. Кровь, циркулирующая в сосудах «овала», имеет высокий гематокрит (рис. 4). Особую функциональную роль в диффузии кислорода в просвет плавательного пузыря выполняют многочисленные капиллярные петли (рис. 5). Они имеют широкий равномерный диаметр (35–45 мкм) и содержат кровь с высоким гематокритом. Таким образом, плавательные пузыри открытопузырных рыб (карпа) осуществляют газообмен с помощью «овала», а закрытопузырных рыб – с помощью «овала» и газовой железы.

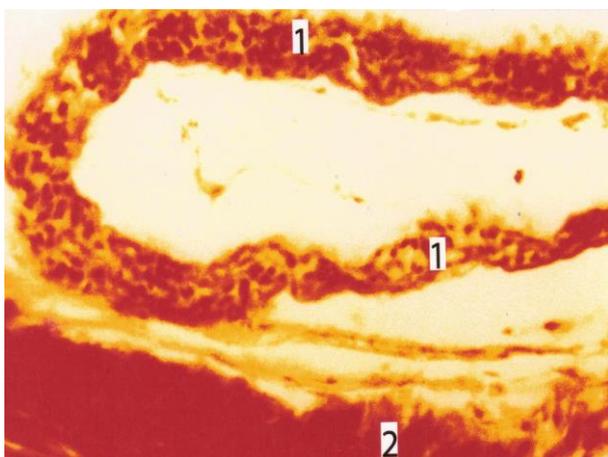
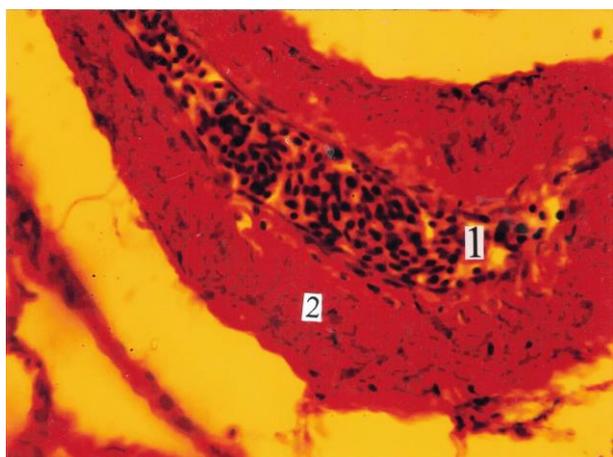


**Рис. 1.** Фотография макроскопического препарата плавательного пузыря карпа *Cyprinus carpio* L. Обозн.: А - камеры пузыря (1-2); Б - межкамерный канал (1-2)



**Рис. 2.** Микрофото гистологического препарата передней камеры плавательного пузыря карпа. Обозн.: 1, 4 - воздухоносные ячейки в подслизистой основе (2-3) Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x200

**Рис. 3.** Фотография макроскопического препарата плавательного пузыря карпа. Обозн.: 1 - передняя камера, 2 - «овал», 3 - задняя камера



**Рис. 4.** Микрофото гистологического препарата «овала» плавательного пузыря карпа. Обозн.: 1 - кровь с высоким гематокритом в просвете артерии (2). Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x100

**Рис. 5.** Микрофото гистологического препарата «овала» плавательного пузыря карпа. Обозн.: 1 - капиллярная петля сосудистой конструкции «овала», 2 - подслизистая основа. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x100.

Все структуры глазного яблока, не имеющие собственного микрососудистого русла, снабжаются кислородом, растворенным в ВГЖ [17]. Он поступает в глазное яблоко с артериальной кровью и освобождается из оксигемоглобина в микрососудах цилиарного тела. Их структурная организация адаптирована к выполнению функции противоточных обменников, способных перемещать вещества против градиента их концентрации. Подобные конструкции обнаружены и в «овалах», и в газовых железах плавательных пузырей карпов и судаков. Эти сосудистые конструкции – аналоги петли Генле в нефроне, функционируют как газовые умножители, активно освобождаящие кислород из оксигемоглобина крови. Это позволяет насыщать ВГЖ кислородом против градиента гидростатического и осмотического давления. Гидростатическое давление (18–20 мм рт. ст.) и гиперосмолярность (400 мосмоль/л) ВГЖ могут быть преодолены только путем активной сатурации кислорода в жидкости [18]. То есть, цилиарное тело с его микрососудистым руслом функционирует как газовая железа, аналогами которой являются «овал» и газовая железа плавательного пузыря костистых рыб. Их плавательный пузырь способен выдержать гидростатическое давление на глубине до 1-го километра [19]. Процесс секреции цилиарного тела начинается с выделения в кровь его микрососудов молочной кислоты. Этим снижается ее сродство к кислороду. Действие молочной кислоты на кровь известно как эффект Бора. У большинства рыб этот эффект выражен гораздо сильнее – это эффект Реота. Содержание молочной кислоты в ВГЖ 3,5 раза выше, чем в плазме крови, а концентрация аскорбиновой кислоты – в 25 раз выше в ВГЖ, чем в плазме крови. В свою очередь, глюкозы, мочевины

и белков в ВГЖ значительно меньше, чем в плазме крови [18]. По мере поступления в кровь молочной кислоты, оксигемоглобин отдает кислород быстрее, с периодом 50 мс [20]. Цилиарное тело тоже секретирует кислород, но он находится не в газовом состоянии, а насыщает ВГЖ, растворяясь в ней в соответствии с законами сатурации газов в жидкостях [21]. Слишком низкая растворимость кислорода в жидкости при нормальном атмосферном давлении и слишком малый общий объем ВГЖ, циркулирующий в глазном яблоке за сутки (3 мл), обуславливает ее недостаточную кислородную емкость. Для максимально возможного насыщения ВГЖ кислородом требуется активный механизм с большой затратой энергии АТФ. Увеличить кислородную емкость ВГЖ могут два физических фактора – высокое давление и низкая температура. Таким образом, химический состав ВГЖ способствует проявлению эффекта Бора. Это дает повышение в сравнении с плазмой крови концентрации молочной и аскорбиновой кислот, кислый диапазон рН с буферной системой, гиперосмолярность и более высокое давление  $\text{CO}_2$ , чем в артериальной крови. Все это имеет место в «овале» и газовой железе костистых рыб, которые секретируют кислород в просвет плавательного пузыря. При этом, плавательный пузырь открытопузырных рыб кровоснабжается из чревного ствола, поскольку он, наряду с кишечником, «принимает гораздо большее участие в газообменных процессах, чем жаберные артерии» (цит. по [22], с. 270).

**Заключение.** На основании полученных данных можно сделать заключение о том, что цилиарное тело глазного яблока человека является аналогом газовой железы плавательного пузыря костистых рыб.

## Литература References

1. Sodi A, Giambene B, Falaschi G et al. Ocular surface temperature in central retinal vein occlusion: preliminary data. *Eur J Ophthalmol.* 2007;17(5):755-759. <https://doi.org/10.1177/112067210701700511>
2. Schmidt-Nielsen K, Bretz WL, CR Taylor CR. Panting in dogs: unidirectional air flow over evaporative surfaces. *Science.* 1970;169(3950):1102-1104. <https://doi.org/10.1126/science.169.3950.1102>
3. Taylor CR. Dehydration and heart: effect on temperature regulation of East African ungulates. *Am J Physiol.* 1970;219(4):1136-1139. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1970.219.4.1136>

4. Baker MA, Hayward IN. The influence of the nasal mucosa and the carotid rete upon hypothalamic temperature in sheep. *J Physiol.* 1968;198(3):561-579. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008626>
5. Koshev VI, Petrov ES, Volobuev AN, Yarovenko GV. Funktsional'nye mekhanizmy regulyatsii vnutriglaznogo davleniya, temperatury i gazoobmena i ikh rol' v patogeneze pervichnoy otkrytougol'noy glaukomy (POUG). V kn: Petrov ES, Koshev VI, Volobuev AN. Vzglyady i suzhdeniya, analiz i vyvody po nekotorym voprosam fundamental'noy i prikladnoy meditsiny.- Samara, 2012.- S. 164-184. In Russian
6. Prives MG, Lysenkov NK, Bushkovich VI. Anatomiya cheloveka. L.: Meditsina, 1974. - 671s. In Russian
7. Nikolenko GA. Tsiliarnoe telo cheloveka v ontogeneze. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. med. nauk. Vladivostok, 2005. - 21s. In Russian
8. Tulupov SB. Makroskopicheskaya anatomiya i topografiya resnichnogo tela v raznykh segmentakh glaznogo yabloka. *Morfologiya*;1999;116(5):23-26. In Russian
9. Vit VV. Stroenie zritel'noy sistemy cheloveka. Odessa: Astropoint, 2003. - 655s. In Russian
10. Agafonova VV, Barinov EF, Frankovska-Gerlak MZ i dr. Gidrodinamika glaza – strukturnye determinanty i molekulyarnye mekhanizmy (Chast 2). *Glaukoma. Zhurnal NII GB RAMN.* 2012(4):12-17. In Russian
11. Ignat'eva SG. Vnutriglaznaya sekretniya i ul'trafil'tratsiya. *Klinicheskaya oftal'mologiya.* 2010(3):73-74. In Russian
12. Ermolaev AP, Novikov IA, Mel'nikova LI i dr. Elementny sostav vlagi peredney kamery i syvorotki krovi pri razlichnom urovne vnutriglaznogo davleniya. *Vestnik oftal'mologii.* 2016;132(6):43-48. In Russian
13. Pershin BS. Gidrodinamicheskiy balans glaznogo yabloka pri intravitreal'nom vvedenii dopolnitel'nogo ob'ema zhidkosti (eksperimental'no-klinicheskoe issledovanie). Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. med. nauk. M., 2012. - 19s. In Russian
14. Nesterov AP. *Glaukoma.* M.: OOO «Medinformagentstvo». 2008. - 360s. In Russian
15. Svetlova OV, Surzhikov AV, Kotlyar KE i dr. Biomekhanicheskie osobennosti regulyatsii sistem produktsii i ottoka vodyanistoy vlagi. *Glaukoma.* 2004;2:66-76. In Russian
16. Svetlova OV, Zinov'eva NV, Krylova IS i dr. Prorabotka kontseptsii biomekhanicheskoy modeli ottoka vnutriglaznoy zhidkosti. *Ros. zhurn. biomekhaniki.* 2001(3):23-29. In Russian
17. Bunin Aya, Yakovlev AA. Kislotno-osnovnoy obmen vodyanistoy vlagi. *Vestnik oftal'mologii.* 1973(5):5-8. In Russian
18. Piri A, van Reyningen R. *Biokhimiya glaza.* M.: Meditsina, 1967. - 400s. In Russian
19. Aminova VA. *Fiziologiya ryb.* M.: Kolos, 1984. - 157s. In Russian
20. Berg T, Steen JB. The mechanism of oxygen concentration in the swim-bladder of the eel. *J Physiol.* 1968;195(3):631-638. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008478>
21. Kozlov VI. Krovoobrashchenie glaz i tsirkulyatsiya vodyanistoy vlagi v norme i pri glaukome. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. med. nauk. M., 1976. - 23s. In Russian
22. Grigor'eva TA. *Innervatsiya krovenosnykh sosudov.* M.: Medgiz, 1954. - 374s. In Russian

Авторы заявляют об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Марков Игорь Иванович**, профессор, доктор медицинских наук, советник ректора, Медицинский университет РЕАВИЗ, Самара, Россия; e-mail: [morpholetter@yandex.ru](mailto:morpholetter@yandex.ru)

**Ткаченко Сергей Сергеевич**, аспирант кафедры морфологии и патологии, Медицинский университет РЕАВИЗ, Самара, Россия; e-mail: [sstmail@yandex.ru](mailto:sstmail@yandex.ru)

**Маркова Валерия Игоревна**, аспирант кафедры морфологии и патологии, Медицинский университет РЕАВИЗ, Самара, Россия; e-mail: [markovii2601@yandex.ru](mailto:markovii2601@yandex.ru)

**Волов Николай Владиславович**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры клинической медицины, Медицинский университет РЕАВИЗ, Самара, Россия; e-mail: [volovnik@rambler.ru](mailto:volovnik@rambler.ru)

The authors declare that they have no conflicts of interest in the planning, implementation, financing and use of the results of this study

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Igor I. Markov**, Professor, Doctor of Medical Sciences, Rector's Advisor, Reaviz Private Medical University, Samara, Russia; e-mail: [morpholetter@yandex.ru](mailto:morpholetter@yandex.ru)

**Sergey S. Tkachenko**, Aspirant of the Department of Morphology and Pathology, Reaviz Private Medical University, Samara, Russia; e-mail: [sstmail@yandex.ru](mailto:sstmail@yandex.ru)

**Valeriya I. Markova**, Aspirantin of the Department of Morphology and Pathology, Reaviz Private Medical University, Samara, Russia; e-mail: [markovii2601@yandex.ru](mailto:markovii2601@yandex.ru)

**Nikolay V. Volov**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Clinical Medicine Department, Reaviz Private Medical University, Samara, Russia; e-mail: [volovnik@rambler.ru](mailto:volovnik@rambler.ru)