

ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК 597.5+576.31
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-3-250-264>

Поступила в редакцию 14.11.2025
Received 14.11.2025

А. А. Астроўскі¹, Т. А. Барадзіна¹, А. Б. Астроўская²

¹Інстытут біяхіміі біялагічна актыўных злучэнняў Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,
Гродна, Рэспубліка Беларусь

²Гродзенскі дзяржаўны медыцынскі ўніверсітэт, Гродна, Рэспубліка Беларусь

УЛЬТРАСТРУКТУРНАЯ АРГАНІЗАЦЫЯ ХВАСТАВОГА ПЛАЎНІКА БЛАКІТНАГА ГУРАМІ (*TRICHOGASTER TRICHOPTERUS* PALLAS)

Аннотация. Было проведено гистологическое и электронно-микроскопическое исследование структуры хвостовых плавников половозрелых особей голубых гурами (*Trichogaster trichopterus* Pallas). Установлено, что на фронтальных срезах органа внешний вид как лепидотрихий, так и других структур значительно различается в его проксимальной, центральной и дистальной частях. Проксимальная часть плавника содержит чешую и межлучевые мышцы, центральная часть – только чешую, а дистальной отмеченные структуры отсутствуют. Подтверждено, что механической опорой хвостового плавника гурами является не только совокупность лепидотрихий, но и связанная с ними система прослоек коллагеновых волокон, которые расположены в рыхлой соединительной ткани, вплетаясь в дерму и гемитрихии. В межгемитрихиальном пространстве центральных и дистальных отделов плавника обнаруживаются плотные скопления специфических фибробластов, большинство из которых крупные, многоугольной формы, с большими ядрами и светлой цитоплазмой. В хвостовых плавниках гурами идентифицированы следующие клетки с центриолями: эпидермоциты базального и супрабазального слоев эпидермиса, фибробласты соединительной ткани, клетки Шванна, эндотелиальные клетки, миоцеллитные клетки и крупные фибробласты межгемитрихиального пространства.

Ключевые слова: голубой гурами, хвостовой плавник, гистологическое и электронно-микроскопическое исследование, крупные фибробласты, центриоли

Для цитирования: Астроўскі, А. А. Ультраструктурная арганізацыя хваставога плаўніка блакітнага гурамі (*Trichogaster trichopterus* Pallas) / А. А. Астроўскі, Т. А. Барадзіна, А. Б. Астроўская // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2026. – Т. 71, № 3. – С. 250–264. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-3-250-264>

Aliaksandr A. Astrowski¹, Tatsiana A. Baradzina¹, Aksana B. Astrowskaja²

¹Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National Academy of Sciences of Belarus,
Grodno, Republic of Belarus

²Grodno State Medical University, Grodno, Republic of Belarus

ULTRASTRUCTURAL ORGANIZATION OF THE CAUDAL FIN OF THE BLUE GOURAMI (*TRICHOGASTER TRICHOPTERUS* PALLAS)

Abstract. A histological and electron microscopic study of the caudal fin structure of sub-adult blue gourami (*Trichogaster trichopterus* Pallas) was conducted. It was found that on frontal sections of the organ, the appearance of both lepidotrichia and other structures differs significantly in its proximal, central and distal parts. The proximal part of the fin contains scales and interrational muscles, the central part contains only scales, and the aforementioned structures are absent distally. It was confirmed that the mechanical support of the caudal fin of gourami is provided not only by the set of lepidotrichia, but also by the associated interlayer system of collagen fiber, which are located in the space of loose connective tissue, connecting with the dermis and hemitrichia. In the interhemitrichial space, in the areas of the organ located both in its middle and at the distal edge, there are dense groups of specific fibroblasts, most of which are large in size, polygonal in shape, with large nuclei and clear cytoplasm. The following cells with centrioles have been identified in the caudal fin of gourami: epidermocytes of the basal and suprabasal layers of the epidermis, fibroblasts of connective tissue, Schwann cells, endothelial cells, myosatellite cells, and large fibroblasts of the interhemitrichial space.

Keywords: blue gourami, caudal fin, histological and transmission electron microscopic examination, large fibroblasts, centrioles

For citation: Astrowski A. A., Baradzina T. A., Astrowskaya A. B. Ultrastructural organization of the caudal fin of the blue gourami (*Trichogaster trichopterus* Pallas). *Vesti Natsyyanal'nei akademii nauk Belarusi. Seryya biyalagichnykh nauk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2026, vol. 71, no. 3, pp. 250–264 (in Belarusian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-3-250-264>

Уводзіны. У апошнія гады ў навуковых даследаваннях біялагічнай накіраванасці адным з самых папулярных мадэльных аб'ектаў з'яўляецца рыба даніё рэрыя (*Danio rerio*). Саступаючы толькі грызунам, прадстаўнікі гэтага віду шырока выкарыстоўваюцца для выяўлення і характарыстыкі разнастайных агульнабіялагічных з'яў [1–6].

Падзяляючы з чалавекам каля 70 % агульных генаў, гэтыя рыбы шырока выкарыстоўваюцца таксама і ў біямедыцынскіх даследах. Так, пошук у PubMed на словы “zebrafish and human disease modeling”, выкананы ў сакавіку 2025 г., выявіў амаль 1 500 публікацый [7]. Сярод іншага, даніё рэрыя з'яўляецца мадэллю для аналізу клеткавых і малекулярных механізмаў рэгенерцыі разнастайных органаў – сэрца, печані, галаўнога і спіннага мозга, сятчаткі [8, 9]. Пры гэтым найбольш актыўна яны выкарыстоўваюцца для вывучэння рэгенерцыі плаўнікоў.

Аднак пры ўсіх сваіх перавагах (уклучна з даступнасцю дадзенага біялагічнага віду для беларускіх навукоўцаў [10]) выкарыстанне даніё рэрыя ў якасці мадэлі для вывучэння рэгенерцыі мае адзін недахоп – малыя памеры рыб (2,5–4 см), што перашкаджае правядзенню даследаванняў, звязаных з некаторымі спосабамі пашкоджання плаўніка.

Больш за паўмільярда гадоў эвалюцыі далі магчымасць рыбам адаптавацца да розных экалагічных ніш, стварыўшы гіганцкую відавую разнастайнасць у сваёй групе хрыбтовых. Пры гэтым, напрыклад, грудныя і брушныя плаўнікі ў некаторых відаў рыб набылі дадатковыя функцыі: абарона ад драпежнікаў, адчуванне смаку, тактыльная ацэнка рэльефа дна, хадзьба і нават плануючы палёт [11, 12]. Аднак пры гэтым базавыя прынцыпы арганізацыі плаўнікоў касцістых рыб з класу прамяневапёрых дэманструюць устойлівую аднастайнасць нават пры шырокіх таксанамічных параўнаннях [11]. На фоне вялікай відавай разнастайнасці класа вывучэнне рэгенерцыі плаўнікоў рыб даўно праводзіцца на прадстаўніках відаў, буйнейшых за даніё рэрыя [13]. Наш уласны лабараторны дослед сведчыць аб тым, што з такіх відаў найбольш зручнымі для вывучэння рэгенерцыі плаўнікоў па шэрагу анатамічных параметраў, умовах утрымання ды іншых крытэрыях з'яўляюцца залатыя рыбка і гурамі.

Перад аналізам рэгенерцыі плаўнікоў лагічна спачатку даследаваць іх будову ў натыўным стане, бо ўтварэнне і развіццё рэгенерата адбываецца за кошт клетак і апорных структур, якія засталіся непашкоджанымі ў складзе кульці органа, а да траўмы былі арганічнымі элементамі плаўніка.

Вывучэнне структуры інтактных плаўнікоў рыб з выкарыстаннем метадаў класічнай гісталагіі вядома з канца XIX ст. [14]. Пазней да іх дадаліся метады гістахіміі і электроннай мікраскапіі (ЭМ). Так, Montes G. S. et al. з дапамогай гэтых метадаў выявілі прынцыпы арганізацыі хваставога плаўніка (ХП) у 6 відаў прамяневапёрых рыб [14]. Праз год тая ж структура была вывучана з дапамогай аднаго з гістахімічных метадаў у 8 відаў гэтага класа [15]. Абагульненне прынцыпаў морфафункцыянальнай арганізацыі плаўнікоў касцістых рыб, выяўленых навукоўцамі за XX ст., зрабіў М.-А. Akimenko et al. [13]. Аднак у цэлым марфалагічныя даследаванні (у тым ліку электронна-мікраскапічныя) плаўнікоў касцістых рыб з'яўляюцца ў значнай ступені фрагментарнымі. Пры гэтым даследчыкі аддавалі перавагу вывучэнню найбольш дыстальных участкаў плаўнікоў, дзе няма акасцяных лепідатрыхій (ЛТ).

Рэгенерцыя органаў і тканак – гэта складаны працэс. Ён уключае ў сябе клеткавую праліферацыю як перадумову рэгенерцыі, бо без замены новымі клеткамі тых, якія былі страчаны з-за траўмы альбо хваробы, паўнаўтварэнне рэгенерцыя немагчымая [16]. У сувязі з адзначаным асаблівую цікавасць пры вывучэнні клеткавага складу плаўнікоў касцістых рыб уяўляе знаходжанне сведчанняў патэнцыйнай здольнасці клетак да праліферацыі. Лічыцца, што наяўнасць у апошніх цэнтрыёляў і з'яўляецца адным з такіх сведчанняў.

Цэнтрыёлі – гэта эвалюцыйна даўнія структуры, прысутныя ў клетках эўкарыёт, пабудаваныя з кансерватыўных бялкоў [17]. Яны арганізуюць цэнтрасомы, знаходзяцца ў аснове жгуцікаў і вейчыкаў, неабходны для сігналізацыі, палярнай арыентаванасці, рухомасці клетак [17]. Акрамя адзначанага цэнтрыёлі маюць вырашальнае значэнне для праліферацыі клетак. Калі апошнія страчваюць перспектыву дзялення, цэнтрыёлі ў іх цытаплазме знікаюць [18]. Але ў нас не атрымалася знайсці публікацыі, нацэленыя на выяўленне клетак з цэнтрыёлямі ў плаўніках не толькі залатых рыбак ці гурамі, а і ў плаўніках любых іншых відаў касцявых рыб.

У сувязі з адзначаным мэтай даследавання стала характарыстыка ўльтраструктурнай арганізацыі ХП гурамі на яго розных ўчастках і выяўленне ў ім клетак з цэнтрыёлямі.

Матэрыялы і метады даследавання. У даследаванні выкарыстаны 6 палаваспелых самак гурамі (*Trichogaster trichopterus* Pallas) агульнай даўжынёй 7–8 см. Перад узяццем матэрыялу ўсе рыбы змяшчаліся ў водны раствор гваздзіковага алею і пасля абезрухомлівання падвяргаліся эўтаназіі шляхам дэкапітацыі [19].

Для гісталагічнай апрацоўкі ў 3 рыб выдзяляліся дыстальныя фрагменты хваставога аддзела цела разам з ХП, якія фіксавалі 3 гадзіны ў фармалін-спірт-воцатнай кіслаце (ФСВ), дэкальцыніравалі 2 тыдні ў 3 зменах 7%-га раствора этылендыямінтэтравоцатнай кіслаты (ЭДТА), перыядычна чаргуючы з 1–2 днямі ў 10%-м раствору нейтральнага фармаліну. Пасля руціннай гісталагічнай праводкі і заліўкі ў парафін на ратацыйным мікратоме Kedi KD-3398 (Kedee, Кітай) атрымлівалі серыйныя франтальныя зрэзы таўшчынёй 4,5 мкм, якія афарбоўвалі гематаксілінам і эазінам. Прэпараты фатаграфавалі ў мікраскопе Leica DM6B (Leica Microsystems, Германія).

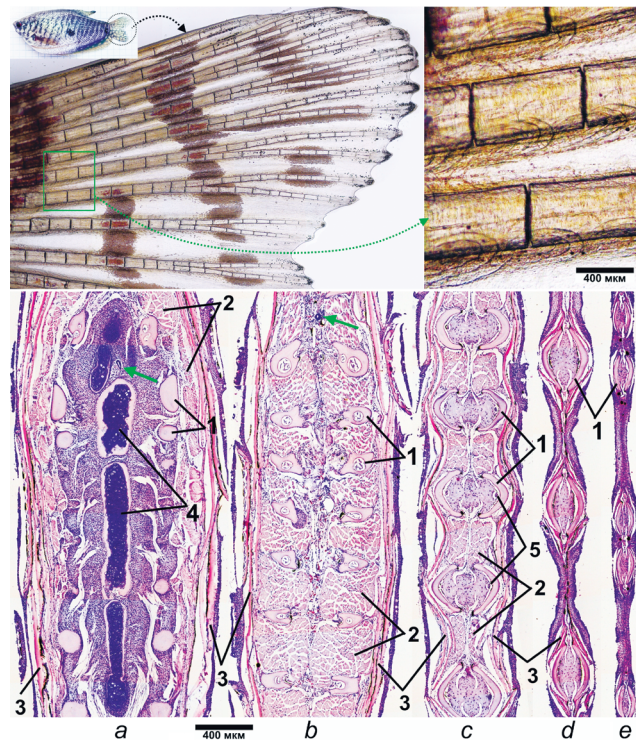
Для электронна-мікраскапічнага даследавання ХП ад 3 гурамі фіксавалі ў 10%-м раствору нейтральнага фармаліну, тыдзень дэкальцынавалі ў 5%-м раствору ЭДТА. З кожнага плаўніка бралі па 3 кавалкі: на дыстальным краі органа, у яго цэнтральнай частцы і бліжэй да аснавання. Тканкі дадаткова фіксавалі ў 1%-м раствору чатырохвокісу осмія на буферы Мілоніга (0,1 М; pH 7,4) пры тэмпературы 4 °C на працягу 2 гадзін, прамывалі вадой, абязводжвалі ў спіртах, ацэtone і залівалі ў аралдыт. На ўльтрамікратоме Leica EM UC7 (Leica Microsystems) атрымлівалі ўльтратонкія зрэзы таўшчынёй каля 50 нм, кантраставалі 2%-м раствораў уранілацэтата і цытратам свінца паводле E. S. Reynolds [20]. Сетачкі са зрэзамі праглядалі і фатаграфавалі ў электронным мікраскопе JEM-1011 (JEOL, Японія).

Вынікі і іх абмеркаванне. На мікраанатамічным узроўні, калі натыйны ХП гурамі аналізаваўся пад аб'ектывам светлавога мікраскопа, былі выразна бачны контуры органа, пабудаваныя з яго апорных структур і мяккіх тканак (мал. 1, фота зверху). На іх фоне выразна праступалі пігментныя плямкі, якія складаліся з вялікай колькасці дробных меланінавых кропак цёмна-карычневага колеру. Асобныя чорныя меланінавыя кропкі, як правіла, большага памеру, сустракаліся таксама на ўсёй іншай плошчы ХП. На фоне плаўніка выразна кантурыраваліся промні ЛТ. Усёй сваёй сукупнасцю яны складалі асноўную механічную апору (шкілет) для ўсіх больш мяккіх тканак ХП. Промні ЛТ былі падзелены на сегменты і, ідучы ад аснавання плаўніка, па меры набліжэння да дыстальнага краю органа дыхатамічна расшчапляліся. Некаторыя ЛТ, якія прысутнічалі ў аснаванні плаўніка і пры гэтым знаходзіліся на яго верхнім ды ніжнім краях, заканчвалі свой рост, не даходзячы да сярэдзіны органа. Уяўная лінія, якая праходзіла вертыкальна пасярэдзіне ХП, звычайна перасякала 16–17 промняў ЛТ. На ўчастках ХП, размешчаных бліжэй да яго праксімальнага краю, таксама можна было ўбачыць акруглыя контуры лускавінак, якія праступалі менш выразна, чым контуры ЛТ (мал. 1).

Аналіз франтальных гісталагічных зрэзаў (мал. 1, фота ўнізе) дазволіў пацвердзіць, што кожны промень ЛТ у ХП гурамі складаецца з двух сіметрычна размешчаных полупромняў – гемітрыхій (ГТ), сіметрычных адносна сагітальнай лініі, праведзенай на франтальным зрэзе органа. Аднак выгляд ГТ істотна адрозніваўся на франтальных зрэзах розных участкаў плаўніка.

Так, полупромні ГТ на дыстальным краі хваставога аддзела цела гурамі выглядалі парамі невялікіх акруглых цельцаў ружовага колеру і гамагеннай структуры, якія з дапамогай звязак былі злучаны з паверхняй костак гіпуралі (мал. 1, а; дарэчы, унутры костак гіпуралі па-ранейшаму прысутнічаў гіялінавы хросток, а ў складзе адзначаных вышэй звязак знаходзілася вялікая колькасць фібраблустаў). Вакол дадзенага комплексу апорных структур былі бачны саматычныя цягліцы, характэрныя для самага дыстальнага краю хваставога аддзела цела. На перыферыі ад іх знаходзіліся лускавінкі і шматслойны неарагавелы эпідэрміс.

Аднак на франтальных зрэзах, якія прайшлі па праксімальнымі краі ХП гурамі, карціна выглядала іначай (мал. 1, б). Так, вонкавыя контуры полупромняў ГТ былі разнастайнай формы (ад авальнай да поліганальнай), унутры дадзеных структур знаходзіліся акруглыя поласці, запоўненыя злучальнай тканкай. Гэтая ж тканка разам з крывяноснымі сасудамі прысутнічала паміж парнымі ГТ. Тканкі цягліцы, у адрозненне ад раней апісанага зрэзу, прысутнічалі толькі



Мал. 1. Структура ХП блакітнага гурамі (*T. trichopterus*). Уверсе злева – дарослая асобіна *T. trichopterus*, а таксама верхняя лопасць яе хваставога плаўніка: бачныя контуры мяккіх тканак, ЛТ, пігментныя плямы. Справа пры большым павелічэнні паказаны сегменты ЛП, на іх фоне – авальныя контуры луска. Унізе – фронтальныя гісталагічныя зрэзы, афарбаваныя гематаксілінам і эазінам. Літарамі пазначаны зрэзы: *a* – на ўзроўні дыстальнага краю хваставога аддзела цела; *b* – у аснове ХП; *c* – у сярэдзіне ХП; *d*, *e* – бліжэй да дыстальнага краю органа (зялёныя стрэлкі на зрэзах *a*, *b* паказваюць на каўдальны канчатак спінога мозгу). Лічбамі пазначаны: 1 – гемітрыхія; 2 – саматычныя цягліцы; 3 – луска; 4 – косткі гіпуралі з гіялінавым хростком унутры; 5 – нервы побач з унутранай паверхняй гемітрыхія

Fig. 1. Structures of the caudal fin of blue gourami (*T. trichopterus*). Top left – adult individual of *T. trichopterus*, as well as upper lobe of the caudal fin with the contours of soft tissues, lepidotrichia, and pigment spots are visible. On the right, segments of lepidotrichia are shown, against their background – oval contours of scales. Bottom – the same on frontal histological sections stained with hematoxylin and eosin. The sections are indicated by letters: *a* – at the level of the distal edge of the caudal part of the body; *b* – at the base of the fin; *c* – in its middle; *d*, *e* – closer to the distal edge of the organ (green arrows on sections *a*, *b* point to the caudal end of the spinal cord). The numbers indicate: 1 – hemitrichia; 2 – somatic muscles; 3 – scales; 4 – hypural bones with hyaline cartilage inside; 5 – nerves near the inner surface of the hemitrichia

ў міжпропневых прамежках паміж ЛТ [21]. Звонку ад комплексу пералічаных структур па-ранейшаму былі бачны лускавінкі і эпідэрміс (мал. 1, *b*).

На фронтальных зрэзах сярэдняй зоны плаўніка пары полупромняў ГТ зноў змянілі выгляд. Цяпер яны былі дугамі, павернутымі ўвагнутай паверхняй адна да адной. Пры гэтым, калі сярэдзінны зрэз праходзіў бліжэй да праксімальнага краю органа, паміж ЛТ усё яшчэ прысутнічалі міжпропневая цягліцы (мал. 1, *c*). Калі ж сярэдзінны зрэз перасякаў ХП бліжэй да яго дыстальнага краю, цягліцы паміж ЛТ адсутнічалі (мал. 1, *d*). Пры гэтым на ўсіх зрэзах дадзенай зоны (сярэдзіна ХП) у большай ці меншай колькасці ўсё яшчэ былі бачны лускавінкі, пакрытыя эпідэрмісам. Істотна таксама адзначыць тое, што на дадзеным участку ў прасторы паміж полупромнямі ГТ утрымлівалася не толькі рыхлая злучальная тканка з крывяноснымі сасудамі, а і такія від злучальнай тканкі, дзе асноўная частка яе аб'ёму была запоўнена групамі буйных клетак, размешчаных ушчыльную, што нагадвала эпідэліяльную тканку. Тут жа, каля ўнутранай паверхні ГТ, былі бачны папярочна перасечаныя нервы.

На зрэзах дыстальнага краю ХП па-ранейшаму прысутнічалі пары полупромняў ГТ меншага памеру, але ў большай колькасці (за кошт папярэдняга дзіхатамічнага расшчаплення ЛТ). Тут ужо не было цягліц і лускавінак (мал. 1, *e*). Усе промні ЛТ і тонкія праслойкі злучальнай тканкі ў міжпропневых інтэрвалах паміж імі пакрываў шматслойны неарагавелы эпідэрміс, які, як

і на папярэдніх зрэзах, меў большую таўшчыню ў інтэрвалах паміж ЛТ, чым на іх паверхні. У прасторы паміж парнымі полупромнямі ГТ, як і ў сярэдзіне ХП, былі бачны групы шчыльна размешчаных клетак.

Канцавы адзел спіннага мозгу *T. trichopterus* прысутнічаў не толькі на зрэзах дыстальнай вобласці хваставага аддзела цела рыбы, але і ў праксімальнай частцы ХП гурамі (мал. 1, *a, b*).

Электронна-мікраскапічнае даследаванне ХП рыб *T. trichopterus* дазволіла выявіць прыныпова рысы ўльтраструктурнай арганізацыі органа. Так, у дачыненні да эпідэрмісу, прысутнага на ўсёй паверхні ХП, пацвердзілася, што апошні складаецца з 5–7 пластоў эпідэrmальных клетак (мал. 2, *a*). Агульная таўшчыня эпідэрмісу на зрэзах вагалася ў межах 18–32 мкм. Пры гэтым эпідэрміс, які знаходзіўся на паверхні ХП, у межпромежных інтэрвалах паміж ЛТ звычайна быў таўсцейшы за той, які пакрываў паверхню полупромняў ГТ.

Эпідэрміс па сваёй ультраструктуры цалкам выглядаў прыныпова аднолькава на ўсёй паверхні ХП гурамі. Аднак самы павярхоўны пласт, складзены з істотна распластаных эпідэрмацытаў, адрозніваўся наступным: чым бліжэй кавалак тканак, абраны для даследавання, знаходзіўся да дыстальнага краю плаўніка, тым больш выразна на яго паверхні былі бачны сістэматычна размешчаныя мікраварсінкі, даўжыня каторых вагалася ў межах 300–360 мкм, а інтэрвалы паміж імі былі каля 400 нм.

Эпідэрмацыты, размешчаныя ў базальным пласце, у большасці выпадкаў мелі квадратную форму, у супрабазальных пластах – больш авальную, выцягнутую паралельна паверхні эпідэрмісу. Іх ядры былі буйнымі, утрымлівалі пераважна эўхраматын, зрэдку мелі ядзеркі (рознага памеру, звычайна па адным, рэдка – па два). Пры гэтым ядзеркі ў ядрах эпідэрмацытаў можна было ўбачыць ва ўсіх пластах эпідэрмісу, хаця найрадзей – у самым павярхоўным.

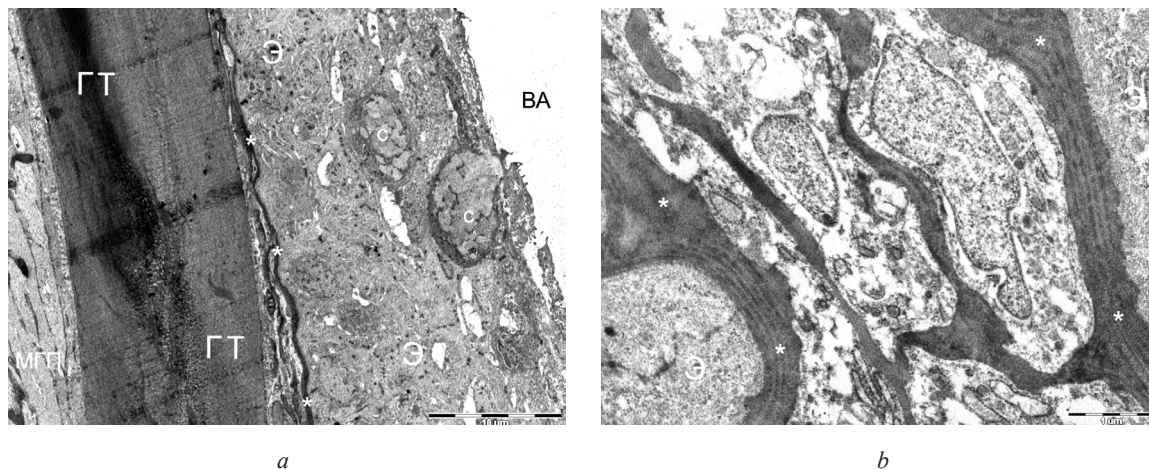
Межы паміж эпідэрмацытамі, як правіла, выяўляліся з цяжкасцю, паколькі пры выкарыстанай форме падрыхтоўкі да ЭМ-даследавання вонкавая цытаплазматычная мембрана слаба выдзялялася на фоне вялікай сукупнасці тонафіламентаў, якія запаўнялі цытаплазму клетак. Аднак у многіх выпадках, дзякуючы добра бачным дэсмасомам, якія забяспечвалі ўзаемнае механічнае счাপленне эпідэрмацытаў, выглядзячы на агульным фоне кароткімі пункцірнымі лініямі, межы паміж імі можна было выявіць дастаткова дакладна. Акрамя дэсмасом механічнае счাপленне эпідэрмацытаў дадаткова забяспечвалася інтэрдыгітацыямі цытаплазмы клетак, якія былі асабліва развітымі ў базальным і першых супрабазальных пластах эпідэрмісу. Адрозніць участкі, якія належалі розным клеткам, дапамагала таксама розная электронная шчыльнасць іх цытаплазмы.

Дадатковую неаднастайнасць выгляду эпідэrmальнага пласта, што пакрываў ХП гурамі, стваралі клеткі, якія знаходзіліся ў яго тоўшчы, але мелі іншыя ў параўнанні з тыповымі эпідэрмацытамі функцыянальнае прызначэнне і гістагенез. Так, у прасторах паміж эпідэрмацытамі часта сустракаліся слізевыя клеткі (мал. 2), а таксама клеткі гематагеннага паходжання – лімфацыты, клеткі падобныя да нейтрафільных гранулацытаў, макрафагі [22, 23].

Асноўную частку аб'ёму цытаплазмы ўсіх эпідэрмацытаў запаўнялі тонафіламенты. Яны размяшчаліся шчыльна і пераважна па перыферыі клетак, адціскаючы іншыя арганэлы ў цэнтр – у прастору побач з ядрамі. Найбольш напоўненай разнастайнымі арганэламі была цытаплазма базальных эпідэрмацытаў. Акрамя тонафіламентаў у ёй сустракаліся шматлікія рыбасомы, цыстэрны гранулярнага эндаплазматычнага рэтыкулума, мітахондрыі.

У цытаплазме базальных эпідэрмацытаў таксама нярэдка выяўляліся цэнтрыёлі (мал. 10, *a*), тады як у супрабазальных сляях яны сустракаліся вельмі рэдка. Дадзеныя арганэлы, як ужо адзначалася, сведчаць пра здольнасць эпідэрмацытаў (асабліва базальных) да мітатычнага дзялення, што неабходна для забеспячэння ўдзелу эпідэрмісу ў працэсах росту ХП і магчымай рэгенерцыі.

Дэрма ХП гурамі, на якой знаходзіцца эпідэрміс, была вельмі тонкай. У многіх месцах яе таўшчыня не перавышала 400 нм. Пры гэтым дэрма, як правіла, складалася з некалькіх пластоў калагенавых валокнаў. У кожным з дадзеных пластоў апошнія былі накіраваны ў сваім кірунку, што і стварала слаістаць структуры, у прасторы паміж якімі дадаткова прысутнічала пэўнае электронна-шчыльнае рэчыва (мал. 2). У адпаведнасці з [14] гэта маглі быць протэагліканы. З-за адзначанага дэрма выразна кантраставала на фоне іншых суседніх структур (эпідэрмісу і рыхлай злучальнай тканкі) сваёй большай электроннай шчыльнасцю. На тых участках, дзе дэрма мела



Мал. 2. Эпідэर्मіс і дэрма на паверхні гемітрыхіі (а) і ў інтэрвалах паміж ЛТ (b): ВА – вонкавае асяроддзе; ГТ – гемітрыхія; МГП – міжгемітрыхіяльная прастора; с – слізевыя клеткі; Э – эпідэर्मіс; * – дэрма

Fig. 2. Epidermis and dermis on the surface of hemitrichia (a) and in the intervals between lepidotrichia (b): BA – external environment; ГМ – hemitrichia; МГП – interhemitrichial space; с – mucous cells; Э – epidermis; * – the dermis

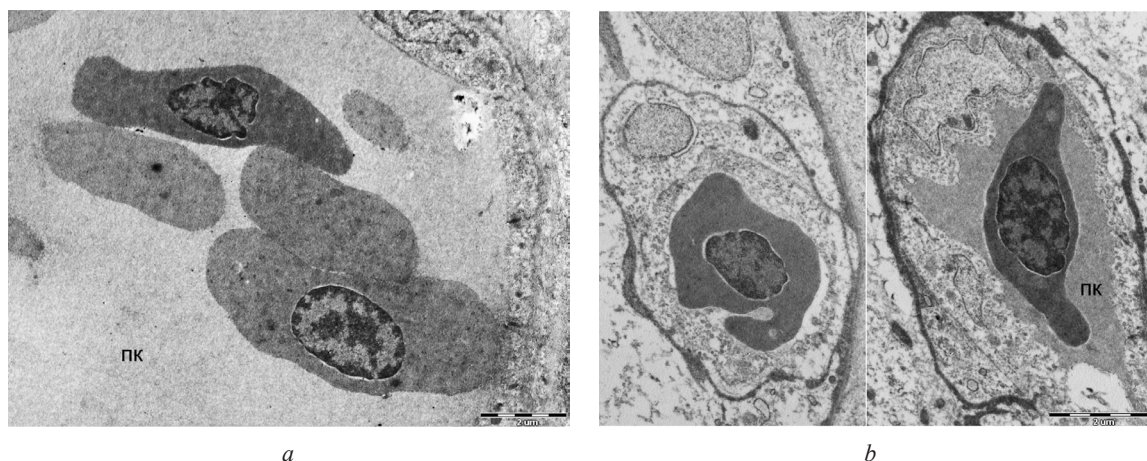
істотна большую таўчыню (800 нм і болей), у яе складзе былі бачны адросткі фібраблустаў. Базальная мембрана, якая знаходзіцца паміж базальнымі эпідэрмацытамі і дэрмай, мела гамагенную структуру, была таўшчынёй каля 100 нм. З-за высокай электроннай шчыльнасці дэрмы базальная мембрана не заўсёды была добра бачна.

Глыбей пад дэрмай знаходзілася субдэрма, прадстаўленая рыхлай злучальнай тканкай. У інтэрвалах паміж ЛТ два сіметрычныя пласты апошняй зліваліся ў адзіны пласт субдэрмы (мал. 2, b). Пласт тонкай субдэрмы (часта з капілярамі) знаходзіўся таксама паміж дэрмай і знешняй паверхняй ГТ (мал. 2, a), нібы падкрэсліваючы функцыянальную сэнсоўнасць яго знаходжання там, а менавіта неабходнасць трафічнага забеспячэння жыццядзейнасці клетак, якія знаходзіліся звонку ад ГТ (забягаючы наперад, адзначым: тое ж назіралася паміж дэрмай і знешняй паверхняй лускавінак). Найбольшы аб'ём клетак рыхлай злучальнай тканкі знаходзіўся побач з верхнім і ніжнім краямі ЛТ, што абумоўлена геаметрыяй дадзенай зоны. Як правіла, тут жа праходзілі буйныя крывяносныя сасуды.

У субдэर्मальнай злучальнай тканцы істотна большай электроннай шчыльнасцю выдзяляліся праслойкі калагенавых валокнаў, асобныя групы каторых з адной праслойкі пераходзілі ў іншыя, а таксама ў дэрму, ствараючы трохмерную цвёрда-эластычную сець – апору для іншых клетак і тканак ХП (мал. 2, b).

У складзе злучальнай тканкі знаходзіліся таксама розныя клеткі, найбольшую долю сярод якіх складалі фібрабласты. Істотна радзей тут сустракаліся клеткі, падобныя да тучных, макрофагі і меланацыты з характэрнымі для іх буйнымі электронна-шчыльнымі грануламі ў цытаплазме. У межах рыхлай злучальнай тканкі дастаткова часта сустракаліся крывяносныя сасуды, зрэдку – артэрыі, часцей – вены, а найчасцей – капіляры. У прасвеце крывяносных сасудаў акрамя плазмы прысутнічалі лейкоцыты, а таксама эрытрацыты (мал. 3), якія характарызаваўся вялікай электроннай шчыльнасцю цытаплазмы (з-за прысутнасці жалеа ў гемаглабіне) і наяўнасцю ядзер з выразнымі глыбкамі гетэрахраматыну.

У ХП галоўная шкілетна-апорная функцыя належыць усёй сукупнасці касцявых промняў – ЛТ. Пары полупромняў ГТ, з якіх складаліся ЛТ, сваімі знешнімі выгнутымі паверхнямі былі павернуты да субдэрмы і эпідэर्मісу, а ўнутранымі – да тых структур і клетак, якія знаходзіліся ў міжгемітрыхіяльнай прасторы. Нягледзячы на выдаленне калыцыю ў ходзе падрыхтоўкі да даследавання, матэрыял, які застаўся ў складзе ГТ, характарызаваўся павышанай электроннай шчыльнасцю (па меркаванні G. S. Montes et al. [14], гэты матэрыял складаўся з калагену, звязанага з хондрацінсультатам і протэагліканами). Пры гэтым бліжэй да знешняй паверхні ён на папярочных зрэзах выглядаў дробназярністым, бліжэй да ўнутранай – тонкаслаістым. Зрэдку

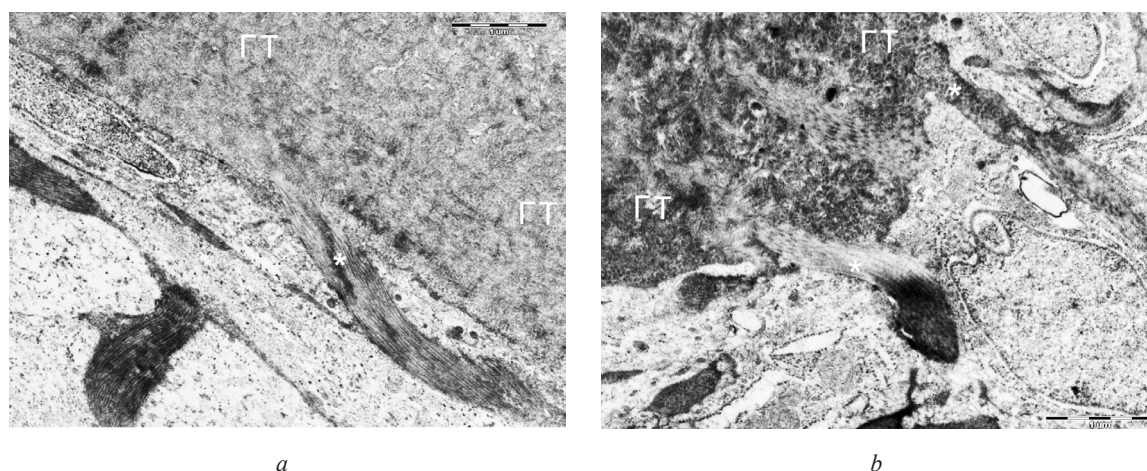


Мал. 3. Эрытрацыты ў прасвеце адносна буйной вены (а) і капіляраў (б). У гэтых клетках бачны ядры з эў- і гетэрахраматынам (ПК – плазма крыві)

Fig. 3. Erythrocytes in the lumen of a relatively large vein (a) and capillaries (b). Nuclei with eu- and heterochromatin are visible in these cells (ПК – blood plasma)

ў складзе ГТ можна было сустрэць пучкі калагенавых валокнаў, якія, верагодна, пагрузіліся туды ў працэсе росту костак ГТ у таўшчыню. Да знешняй паверхні ГТ прылягалі распластаныя на ёй остэабласты (так званыя склерабласты [13]). Размешчаны яны былі, як правіла, у адзін пласт, зрэдку – у паўтара (па прынцеце чарапіцы). Дадзеныя клеткі забяспечвалі патаўшчэнне ГТ, прапарцыянальнае росту ХП і цела ўсёй рыбы. Такія ж остэабласты прылягалі непасрэдна і да ўнутранай паверхні ГТ. Праўда, тут яны часцей размяшчаліся ў паўтара пласты.

Істотнай асаблівасцю ўнутранай паверхні ГТ было тое, што тут нярэдка можна было ўбачыць выразныя прыкметы ўтаплення пучкоў калагенавых валокнаў у тоўшчу косткі ГТ (мал. 4). Такая ж з'ява мела месца на верхнім і ніжнім краях ГТ (мал. 4). Паколькі дадзеныя пучкі былі звязаны з усёй трохмернай сістэмай калагенавых валокнаў, якія знаходзіліся як паміж парнымі ГТ (тут калагенавыя валокны не давалі ім разыходзіцца), так і звонку ад іх, становілася зразумелым, што промні ЛТ, нібы металічныя спіцы ў парасоне, ствараюць асноўны механічны шкілет, размешчаны ўнутры ХП, а механічна звязаная з імі трохмерная сетка пучкоў ды праслоек калагенавых валокнаў (знаходзяцца паміж ГТ, у складзе ўсёй злучальнай тканкі, а таксама ўплятаюцца ў дэрму) дадаткова ўзмацняе ўвесь каркас органа, забяспечваючы механічную апору для ўсіх мяккіх тканак у яе складзе.



Мал. 4. Урастанне пучка калагенавых валокнаў у гемітрыхію на яе ўнутранай паверхні (а); аналагічная з'ява – на ніжнім краі гемітрыхіі (б); * – пучкі калагенавых валокнаў; ГТ – гемітрыхія

Fig. 4. Ingrowth of the bundle of collagen fibers into the hemitrichia on its inner surface (a); a similar phenomenon is on the lower edge of the hemitrichia (b); * – bundles of collagen fibers; ГТ – hemitrichia

Побач з унутранай паверхняй ГТ, адразу за пластом остэабластаў і, як правіла, на роўнааддаленасці ад верхняга і ніжняга краёў ГТ заўсёды прысутнічалі дастаткова буйныя нервы (мал. 5). Пад іх абалонкамі знаходзіліся адросткі нейронаў рознага дыяметру і шванаўскія клеткі, якія ўтваралі міелінавыя абалонкі вакол найбольш буйных адросткаў нейронаў. У цытаплазме шванаўскіх клетак сустракаліся цэнтрыёлі (мал. 5). У прасторы паміж парнымі ГТ нярэдка можна было сустрэць прыкметы праходжання вельмі тонкіх нерваў у шчылінах паміж клеткамі. Паколькі буйныя нервы прысутнічалі нават у самых дыстальных участках ХП гурамі, дзе цягліцы адсутнічалі, можна дапусціць, што большасць адросткаў нейронаў у іх складзе былі дэндрытамі.

На ўчастках ХП гурамі, якія знаходзіліся ў сярэдзіне і на дыстальным краі органа, значную частку тэрыторыі паміж парнымі ГТ (прычым, бліжэй да яе краёў) займалі вялікія па колькасці і памерах групы поліганальных клетак, якія сваёй цытаплазмай шчыльна запаўнялі прастору ў месцах знаходжання, чым нагадвалі эпідэліяльную тканку (мал. 6). Папярэднія вымярэнні паказалі, што аб'ём некаторых з такіх клетак адпавядаў аб'ёму да 10 тыповых фібрабластаў. Цытаплазма дадзеных клетак выглядала электронна-празрыстай (мал. 6). Унутры іх знаходзіліся вялікія ядры (зрэдку з невялікімі ядзеркамі), запоўненыя разрыхленым храматынам, і мітаходрыі (мал. 7). Пры выкарыстанні большых павелічэнняў ЭМ у цытаплазме дадзеных клетак міжгемітрыхільнай прасторы выяўляліся невялікія цыстэрны гранулярнага эндаплазматычнага рэтыкуламу, шматлікія рыхла размешчаныя мікравалаконцы, свабодныя рыбасомы. Былі бачныя дробныя сакраторныя і транспартныя мікравезікулы, некаторыя з якіх знаходзіліся ў стане зліцця з вонкавай цытаплазматычнай мембранай клеткі (ці аддзяленні ад яе – мал. 7). Выявілася таксама, што электронна-шчыльны матэрыял, які запаўняў вузкую шчыліну паміж буйнымі клеткамі, з'яўляўся пучкамі калагенавых валокнаў – тых, якія злучалі парныя ГТ паміж сабой. Апошняе дазваляе сцвярджаць, што прысутнасць калагенавых валокнаў паміж буйнымі шчыльнаразмешчанымі клеткамі міжгемітрыхільнай прасторы з'яўляецца наступствам іх функцыянальнай актыўнасці. Важна адзначыць, што ў цытаплазме апісаных клетак таксама знаходзіліся цэнтрыёлі (мал. 7).

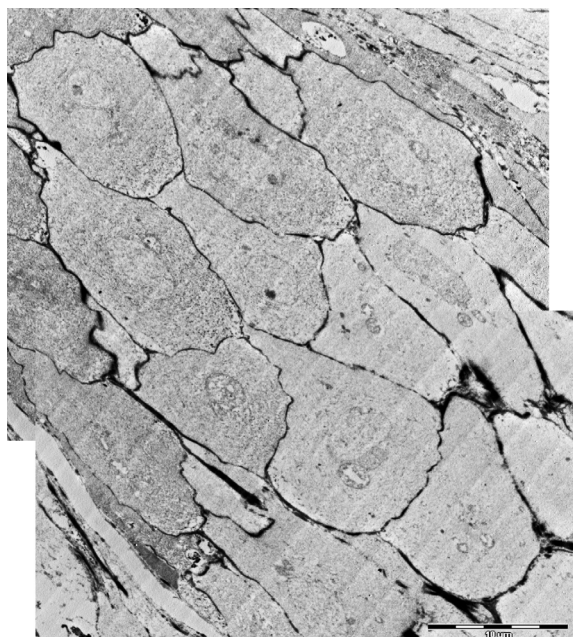
Абагульняючы морфафункцыянальныя рысы буйных клетак, якія былі выяўлены ў прасторы паміж парнымі ГТ (іх прысутнасць у месцы размяшчэння злучальнай тканкі; наяўнасць у іх ядрах дробных ядзерак, у цытаплазме – цыстэрн гранулярнага эндаплазматычнага рэтыкуламу і дробных сакраторных мікравезікул побач з вонкавай цытаплазматычнай мембранай; запоўненасць шчылін паміж клеткамі калагенавых валокан), можна вызначыць гіпотэзу, што дадзеныя клеткі з'яўляюцца спецыфічным відам буйных фібрабластаў, патэнцыйна здольных да мітатычнага дзялення (цэнтрыёлі). А апошняе, у сваю чаргу, дазваляе выказаць наступную гіпотэзу: спецыфічная арганізацыя дадзеных клетак, верагодна, прызначана забяспечыць іх



Мал. 5. Два нервы паблізу ад унутранай паверхні гемітрыхіі (ГТ). Бачныя ядры (Я) шванаўскіх клетак, цэнтрыёль у адной з іх (а). Шванаўская клетка акружае міелінавай абалонкай тоўстае нярвовае валокно (б).

Складзена з васьмі асобных фотаздымкаў

Fig. 5. Two nerves near the inner surface of the hemitrichia (ГТ). The nuclei (Я) of the Schwann cells are visible, with a centriole in one of them (a). Schwann cell surrounds a thick nerve fiber with a myelin sheath (b). Composed of eight separate photos



Мал. 6. Група буйных фібрабластаў, якія знаходзяцца ў міжгемітрыхіяльнай прасторы. Складзена з двух фотаздымкаў

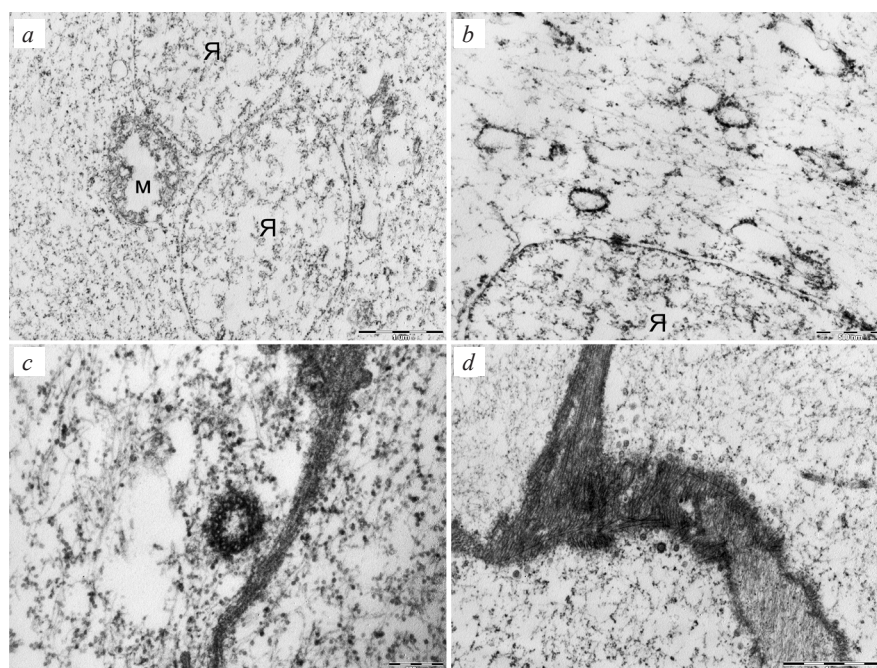
Fig. 6. Group of large fibroblasts located in the interhemitrichial space. Composite of two photographs

максімальна хуткую праліферацыю з наступным ператварэннем у фібраблсты (адказныя, магчыма, за ўтварэнне акцінотрыхій) у выпадку неабходнасці рэгенерацыі ХП пасля магчымага пашкоджання.

Істотна таксама адзначыць, што па краях груп буйных клетак рэгулярна выяўляліся іх істотна меншыя, шчыльна размешчаныя прадстаўнікі з больш электронна-шчыльнай цытаплазмай. Верагодна, гэта былі формы буйных клетак з большай ступенню камбіяльнасці.

Бліжэй да цэнтральнай часткі міжгемітрыхіяльнай прасторы клеткі, як правіла, становіліся драбнейшымі і размяшчаліся больш рыхла, таму тут пачыналі з'яўляцца ўчасткі свабоднай прасторы, характэрныя для рыхлай злучальнай тканкі, запоўненыя міжклеткавай вадкасцю (мал. 8, *b*; апошняя з'ява была больш выразнай у цэнтральна-праксимальнай зоне ХП, чым каля яго дыстальнага краю). Тут часцей можна было сустрэць капіляры.

У праксимальнай зоне ХП, размешчанай бліжэй да хваставага аддзела цэла рыбы, будова



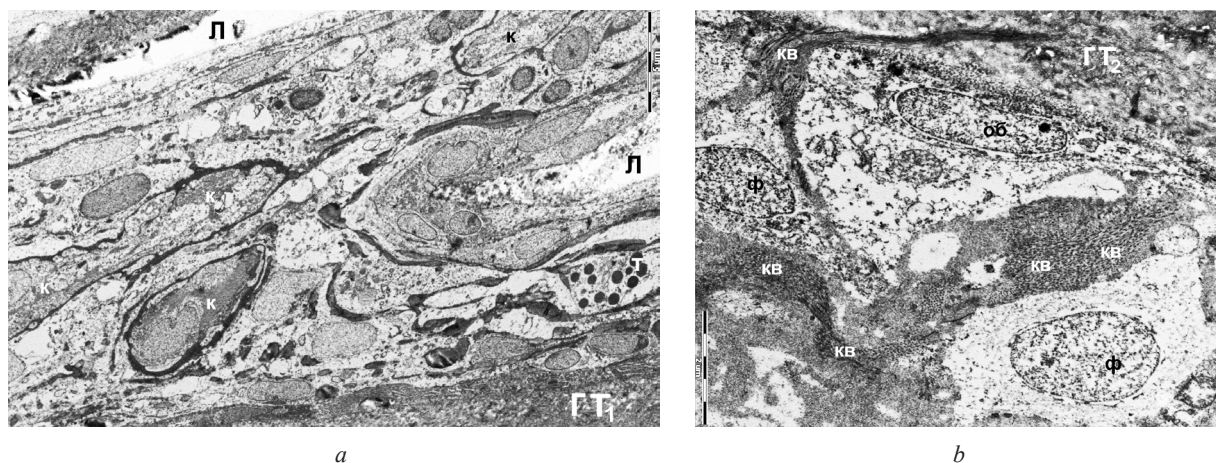
Мал. 7. Дэталі ўльтраструктурнай арганізацыі буйных фібрабластаў: ядры клетак вялікія (*a*), побач знаходзяцца мітахондрыі і невялікія цыстэрны эндаплазматычнага рэтыкулюма (*a*, *b*); у цытаплазме ёсць цэнтрыёлі (*c*); каля вонкавай цытаплазматычнай мембраны бачны, верагодна, сакраторныя і транспартныя мікравезікулы, а ў шчылінах паміж клеткамі – калагенавыя валокны (*d*). Дадаткова пазначана: М – мітахондрыі; Я – ядры

Fig. 7. Details of the ultrastructural organization of large fibroblasts: the cell nuclei are large, loose (*a*), mitochondria and small endoplasmic reticulum cisterns are located nearby (*a*, *b*); centrioles are present in the cytoplasm (*c*); probably secretory and transport microvesicles are visible near the outer cytoplasmic membrane, and in the gaps between the cells – collagen fibers (*d*). Additionally indicated: М – mitochondria; Я – nuclei.

эпідэрмісу, дэрмы і полупромняў ГТ была прынцыпова такой жа, як апісана вышэй. Істотныя адрозненні былі звязаны з прысутнасцю цяглічнай тканкі (якая дыстальней адсутнічала), арганізацыяй міжгемітрыхіяльнай прасторы і большай ступенню развітасці лускі – яны былі і большага памеру, і часта чарапіцападобна наслойваліся адна на адну (мал. 8, *a*). У ходзе ЭМ-даследавання, у методыку выканання якога быў уведзены этап выдалення кальцыю з тканак, паказана, што, у адрозненне ад ГТ, у лускавінках знаходзіцца адносна менш арганічнага матэрыялу – на іх месцы засталіся толькі рыхлыя слаі апошняга (мал. 8). Асноўная плошча лускавінак была пакрыта остэабластамі ў адзін пласт, але ў субдэрме, там, адкуль пачынаўся іх рост, паверхня лускавінак часта аказвалася пакрытай остэабластамі ў два пласты (мал. 8). На паверхні лускавінак, накіраванай да вонкавага асяроддзя, знаходзіўся не толькі эпідэрміс, а і праслойкі злучальнай тканкі з крывяноснымі сасудамі, а пад некаторымі з лускавінак прысутнічалі нервы.

Ультраструктурная арганізацыя міжгемітрыхіяльнай прасторы на праксімальным участку ХП гурамі таксама істотна адрознівалася ад той, якой яна была на больш дыстальных участках органа. Цяпер яе асноўны аб'ём запаўняла рыхлая злучальная тканка з меншай колькасцю клетак, дамінуючую частку якіх складалі тыповыя фібрабласти, аддзеленыя між сабой выразнымі прамежкамі міжклеткавай прасторы (мал. 8, *b*). Таксама тут зрэдку сустракаліся макрафагі, падобныя да тучных клеткі, капіляры. Унутраную паверхню ГТ пакрывалі остэабласты (часцей у адзін пласт). На роўнай адлегласці ад верхняга і ніжняга краёў ГТ, а таксама паблізу ад унутранай паверхні, як і ў іншых раней апісаных гемітрыхіяльных прасторах, прысутнічалі нервы. Аднак на дадзеным участку ХП яны былі большай таўшчыні, чым размешчаныя дыстальней, мелі большую колькасць адросткаў нейронаў у сваім складзе і заўсёды аказваліся аддзеленымі ад паверхні ГТ не толькі остэабластамі, а і вузкай праслойкай злучальнай тканкі.

Прапорцыя паміж аб'ёмамі, запоўненымі міжклеткавым матрыксам злучальнай тканкі і цэламі клетак, у розных месцах міжгемітрыхіяльнай прасторы была рознай. Так, калі бліжэй да цэнтра гэтай прасторы абсалютна дамінуючую частку займала асноўнае рэчыва злучальнай тканкі, то бліжэй да яе краёў істотна павялічвалася адносная доля прасторы, занятая клеткамі. Ва ўсіх выпадках асноўнае рэчыва злучальнай тканкі складалася з трох кампанентаў: празрыстай міжклеткавай вадкасці, пучкоў калагенавых валокнаў і дробных глыбак пэўнага рэчыва (верагодна, протэагліканаў). Глыбкі апошняга размяшчаліся альбо дыфузна ў міжклеткавай вадкасці, альбо аб'ядноўваліся ў свабодныя «хмаркі», альбо былі звязаны з праслойкамі калагенавых



Мал. 8. Участок ХП гурамі бліжэй да праксімальнага краю: *a* – бачны дзве лускавінкі (Л), размешчаныя ў субдэрме над знешняй паверхняй гемітрыхіі (ГТ₁); *b* – структуры, якія знаходзяцца пад унутранай паверхняй гемітрыхіі (ГТ₂). Дадаткова пазначана: К – капіляры; КВ – пучкі калагенавых валокнаў; Т – клетка, падобная на тучную; ОБ – остэабласт; ФБ – фібрабласти

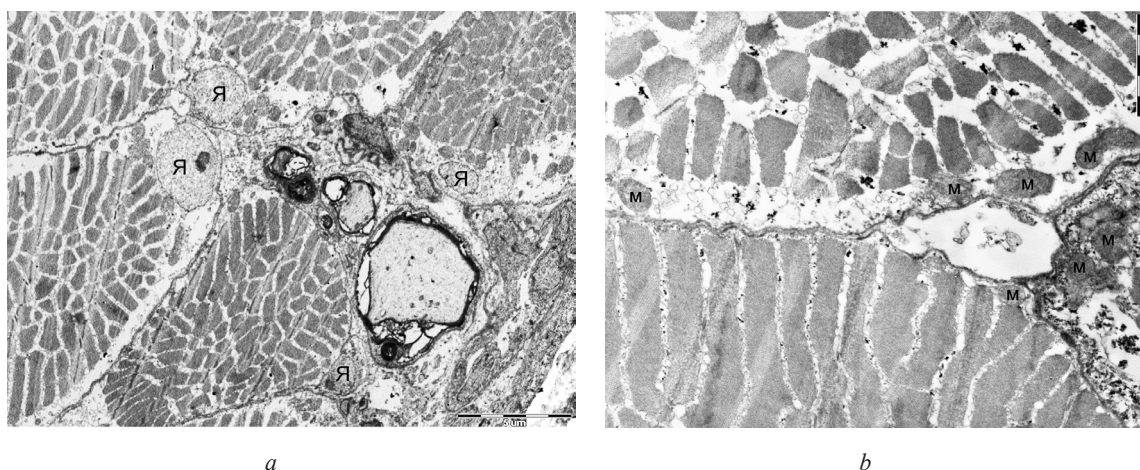
Fig. 8. The area of the caudal fin of a gourami closer to the proximal edge: *a* – two scales (Л) are visible, located in the subdermis above the outer surface of the hemitrichia (ГТ₁); *b* – structures located behind the inner surface of the hemitrichia (ГТ₂). Additionally indicated: К – capillaries; КВ – bundles of collagen fibers; Т – mast-like cell; ОБ – osteoblast; ФБ – fibroblast

валокнаў. Апошнія дзялілі міжгемітрыхіяльную прастору на кампартменты, што было асабліва добра бачна пры адносна невялікіх павелічэннях ЭМ. Усю карціну дапаўнялі фібрабласти, якія сваімі цэламі і адросткамі знаходзіліся ў кантакце з праслойкамі і пучкамі калагенавых валокнаў. У цытаплазме фібраблустаў прысутнічалі мітахондры, свабодныя рыбасомы, невялікія цыстэрны гранулярнага эндаплазматычнага рэтыкулуму, лізамасы.

Як бачна на мал. 1, на праксімальным участку ХП гурамі ў інтэрвалах паміж промняў ЛТ знаходзіцца міжпромневая цягліца. Яе цяглічныя валокны (ЦВ) у абсалютнай большасці выпадкаў на франтальных зрэзах былі перасечаны папярочна, аднак бывала, што некаторыя зрэзы прайшлі праз ЦВ тангенцыйна. Тады становіліся бачнымі тыповыя для папярочна-паласатай цягліцы саркамеры, утвораныя паўторнымі фрагментамі вялікай колькасці паралельна размешчаных актына-міязінавых міяфібрыл.

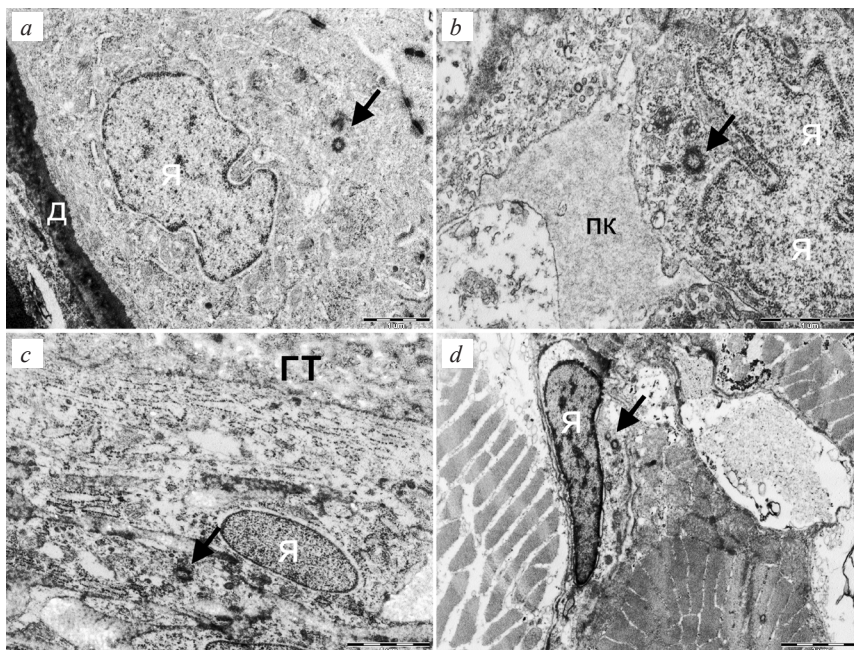
У большасці выпадкаў ЦВ на папярочных зрэзах мелі акруглую форму (мал. 9). Іх сярэдні дыяметр найчасцей вагаўся ў межах 10–12 мкм, хаця зрэдку мог дасягаць 16–18 мкм (але мог быць і меншым за адзначаныя памеры). У цягліцах побач з ЦВ часта знаходзіліся капіляры і нервы (мал. 9). У складзе апошніх былі бачны адросткі нейронаў, многія з якіх былі акружаныя міелінавымі абалонкамі.

Большую частку ўнутранага аб'ёму ЦВ займалі актына-міязінавыя міяфібрылы, аб'яднаныя ў своеасаблівыя кангламераты-пакункі, якія на папярочных зрэзах мелі форму, блізкую да простакутнай (мал. 9). Даўжынёй адзначаныя пакункі былі да 4–5 мкм і таўшчынёй каля 0,5 мкм. На папярочных зрэзах пры вялікіх павелічэннях мікраскопа ўнутры пакункаў у месцах перасячэння актына-міязінавых міяфібрыл былі бачны шэрагі дробных кропак – месцы перасячэння малекул міязіна. Кангламераты міяфібрыл былі аддзелены між сабой больш тонкімі шчылінамі, запоўненымі гіалаплазмай і дробнымі цытаплазматычнымі арганэламі (рыбасомамі, мікравезікуламі). У асобных ЦВ адзначаныя шчыліны былі істотна пашыраны, з-за чаго такія ЦВ выглядалі прасветленымі на фоне суседніх ЦВ (мал. 9). Уся сукупнасць пакункаў міяфібрыл была аб'яднана ў адзіную групу, якая займала ў ЦВ цэнтральную пазіцыю. З-за гэтага ядры і мітахондры мусілі размяшчацца пераважна на свабодных участках цытаплазмы – каля вонкавай цытаплазматычнай мембраны. Большасць мітахондрий мелі авальную форму (з прадольным дыяметрам да 1–1,5 мкм) і былі шчыльна запоўнены крыстамі. Уласныя ядры ЦВ на зрэзах былі акруглай формы (калі мелі магчымасць свабодна размяшчацца ў цытаплазме), а маглі быць і авальна-выцягнутымі (калі да межаў клеткі іх прыціскалі міяфібрылы). У цытаплазме



Мал. 9. Выгляд цяглічных валокнаў і нерваў, прысутных на праксімальным участку ХП гурамі, на папярочным зрэзе пры адносна невялікім павелічэнні ЭМ (а). Фрагменты трох цяглічных валокнаў з рознай ступенню ўпакаванасці міяфібрыл (б). Дадаткова пазначана: Я – уласныя ядры цяглічных валокнаў; М – мітахондры

Fig. 9. Muscle fibers and nerves in the proximal part of the caudal fin of a gourami, transverse section, at relatively low magnification under the electron microscope (a). Fragments of three muscle fibers with varying degrees of myofibril packing (b). Additional labels: Я – intrinsic muscle fiber nuclei; М – mitochondria



Мал. 10. Цэнтрыёлі, знойдзеныя ў клетках ХП гурамі (паказаны стрэлкамі): *a* – базальны эпідэрмацыт; *b* – эндатэліяцыт; *c* – фібрабласт; *d* – клетка-міясатэліт. Дадаткова пазначана: ГТ – знешняя паверхня гемітрыхіі; Д – дэрма; ПК – прасвет капіляра; Я – ядро

Fig. 10. Centrioles found in cells of the caudal fin of a gourami (indicated by arrows): *a* – basal epidermocyte; *b* – endothelial cell; *c* – fibroblast; *d* – myosatellite cell. Additionally indicated: ГТ – outer surface of hemitrichia; Д – dermis; ПК – capillary lumen; Я – nucleus

большасці ЦВ можна было сустрэць вялікую колькасць гранул глікагена (што характэрна для цягліц рыб [24–26]). Апошнія размяшчаліся як на перыферыі ЦВ, так і ў шчылінах паміж пакункамі м'яфібрыл. У параўнанні з рыбасомамі гэтыя гранулы характарызаваліся большай электроннай шчыльнасцю, большымі памерамі і часта былі размеркаваны ў саркаплазме вялікімі групамі.

Побач з ЦВ часам знаходзіліся клеткі-міясатэліты, у цытаплазме некаторых з іх атрымалася выявіць цэнтрыёлі. Клеткі-сатэліты ЦВ шырока вядомыя ў якасці камбіяльнага клеткавага запasu, неабходнага для рэгенерцыі шкілетна-цяглічнай тканкі ў выпадку яе моцнага пашкоджання [27, 28].

У цэлым у ходзе праведзенага даследавання разам з цэнтрыёлямі, якія былі паказаны ў цытаплазме шванаўскай клеткі (мал. 5), і буйнога фібрабласту міжгемітрыхіяльнай прасторы (мал. 7), гэтыя арганэлы былі знойдзены ў цытаплазме шэрагу іншых клетак (у эпідэрмацытах, фібрабластах, эндатэліяцытах, клетках-міясатэлітах), што прадэманстравана на мал. 10.

Заклучэнне. У праведзеным даследаванні пацверджана, што механічнай апорай для ўсіх клетак, іншых адносна мяккіх структур, прысутных у ХП полаваспелых блакітных гурамі (*T. trichopterus*), з'яўляецца сукупнасць касцявых промняў ЛТ разам з трохмернай сеткай пераплеценых пучкоў і праслоек калагенавых валокнаў, часткі якіх пераходзяць з аднаго пучка ці праслойкі ў іншыя, запаўняючы прастору, якая знаходзіцца паміж пластамі эпідэрмісу, полупромнямі ГТ плаўніка, эпідэрмісам ды ГТ.

Устаноўлена, што на фронтальных зрэзах органа выгляд як ЛТ, так і іншых структур істотна адрозніваецца на яго праксімальным, цэнтральным і дыстальным участках. Так, у складзе праксімальнай часткі плаўніка прысутнічаюць міжпромневыя цягліцы і лускавінкі, на цэнтральнай – толькі лускавінкі, дыстальнай адзначаныя структуры адсутнічаюць.

У міжгемітрыхіяльнай прасторы на ўчастках ХП, якія знаходзяцца ўсярэдзіне і бліжэй да дыстальнага краю органа, выяўлены групы буйных фібрабластаў, якія раней не апісваліся і якія, верагодна, з'яўляюцца камбіяльным запасам клетак, патэнцыйна здольных удзельнічаць у рэгенерцыі пашкоджаных апорных структур ХП.

У складзе ХП гурамі знойдзена 6 відаў клетак з цэнтрыёлямі: эпідэрмацыты базальнага і супрабазальнага пластоў эпідэрмісу, фібрабласты рыхлай злучальнай тканкі, шванаўскія клеткі ў складзе нерваў, эндатэліяцыты, клеткі-мясатэліты ў складзе міжпромневых цягліц праксімальнага ўчастка ХП, буйныя фібрабласты міжгемітрыхіяльнай прасторы. Усе гэтыя клеткі разам ствараюць пул відаспецыфічных клетак, якія здольны забяспечыць поўную рэгенерцыю хваставых плаўнікоў дарослых блакітных гурамі ў выпадку іх пашкоджання.

Канфлікт інтарэсаў. Аўтары заяўляюць аб адсутнасці канфлікту інтарэсаў.

Спіс выкарыстаных крыніц

1. Vitellogenin receptor mediates heat adaptability of oocyte development in mud crabs and zebrafish / L. Zhang, K. Wu, H. Li [et al.] // Nature Communications. – 2025. – Vol. 16, N 1. – Art. 3722. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-59035-3>
2. Cellular transitions during cranial suture establishment in zebrafish / D. T. Farmer, J. E. Dukov, H.-J. Chen [et al.] // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15, N 1. – Art. 6948. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50780-5>
3. ABE-ultramax for high-efficiency biallelic adenine base editing in zebrafish / W. Qin, F. Liang, Sh.-J. Lin [et al.] // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15, N 1. – Art. 5613. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49943-1>
4. The miR-144/Hmgn2 regulatory axis orchestrates chromatin organization during erythropoiesis / D. A. Kretov, L. Folkes, A. Mora-Martin [et al.] // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15, N 1. – Art. 3821. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47982-2>
5. Antigen presentation plays positive roles in the regenerative response to cardiac injury in zebrafish / J. Cardeira-da-Silva, Q. Wang, P. Sagvekar [et al.] // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15, N 1. – Art. 3637. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47430-1>
6. Comparative transcriptomics coupled to developmental grading via transgenic zebrafish reporter strains identifies conserved features in neutrophil maturation / S. Kirchberger, M. R. Shueb, D. Lazic [et al.] // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15, N 1. – Art. 1792. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45802-1>
7. Kanungo, J. Special Issue “Zebrafish: A Model Organism for Human Health and Disease” // International Journal of Molecular Sciences. – 2025. – Vol. 26, N 10. – Art. 4624. <https://doi.org/10.3390/ijms26104624>
8. Marques, I. J. Model systems for regeneration: zebrafish / I. J. Marques, E. Lupi, N. Mercader // Development. – 2019. – Vol. 146, N 18. – Art. dev167692. <https://doi.org/10.1242/dev.167692>
9. Gene profile of zebrafish fin regeneration offers clues to kinetics, organization and biomechanics of basement membrane / P. Nauroy, A. Guiraud, J. Chlasta [et al.] // Matrix Biology. – 2019. – Vol. 75–76. – P. 82–101. <https://doi.org/10.1016/j.matbio.2018.07.005>
10. Барулин, Н. В. Использование данио рерио (zebrafish) для оценки нейротоксичности веществ / Н. В. Барулин, А. О. Жарикова // Актуальные проблемы экологии: сб. науч. ст., посвящ. 60-летию фак. биологии и экологии: по итогам XIX Междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 1–4 окт. 2024 г.) / Гродн. гос. ун-т им. Я. Купалы; редкол.: О. В. Янчуевич (гл. ред.) [и др.]. – Гродно, 2024. – С. 152–154.
11. Developmental constraints on fin diversity / A. Enny, K. Flaherty, Sh. Mori [et al.] // Development, Growth and Differentiation. – 2020. – Vol. 62, N 5. – P. 311–325. <https://doi.org/10.1111/dgd.12670>
12. Hardy, A. R. Sensing the structural characteristics of surfaces: texture encoding by a bottom-dwelling fish / A. R. Hardy, M. E. Hale // Journal of Experimental Biology. – 2020. – Vol. 223, N 21. – Art. jeb227280. <https://doi.org/10.1242/jeb.227280>
13. Old questions, new tools, and some answers to the mystery of fin regeneration / M.-A. Akimenko, M. Mari-Beffa, J. Becerra, J. Géraudie // Developmental Dynamics. – 2003. – Vol. 226, N 2. – P. 190–201. <https://doi.org/10.1002/dvdy.10248>
14. Fine structure and histochemistry of the tail fin ray in teleosts / G. S. Montes, J. Becerra, O. M. S. Toledo [et al.] // Histochemistry. – 1982. – Vol. 75. – P. 363–376. <https://doi.org/10.1007/BF00496739>
15. Structure of the tail fin in teleosts / J. Becerra, G. S. Montes, S. R. R. Bexiga, L. C. U. Junqueira // Cell and Tissue Research. – 1983. – Vol. 230. – P. 127–137. <https://doi.org/10.1007/BF00216033>
16. Molecular and Cellular Basis of Regeneration and Tissue Repair / D. Pajalunga, A. Mazzola, A. Franchitto [et al.] // Cellular and Molecular Life Sciences. – 2007. – Vol. 65, N 1. – P. 8–15. <https://doi.org/10.1007/s00018-007-7425-z>
17. Loncarek, J. Building the right centriole for each cell type / J. Loncarek, M. Bettencourt-Dias // Journal of Cell Biology. – 2018. – Vol. 217, N 3. – P. 823–835. <https://doi.org/10.1083/jcb.201704093>
18. Kalbfuss, N. Towards understanding centriole elimination / N. Kalbfuss, P. Gönczy // Open Biology. – 2023. – Vol. 13, N 11. – Art. 230222. <https://doi.org/10.1098/rsob.230222>
19. Document 32010L0063. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes Text with EEA relevance // EUR-Lex / European Union. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj/eng> (date of access: 16.02.2026).
20. Reynolds, E. S. The use of lead citrate at high pH as an electron-opaque stain in electron microscopy / E. S. Reynolds // The Journal of Cell Biology. – 1963. – Vol. 17, N 1. – P. 208–212. <https://doi.org/10.1083/jcb.17.1.208>
21. Flammang, B. E. The fish tail as a derivation from axial musculoskeletal anatomy: an integrative analysis of functional morphology / B. E. Flammang // Zoology. – 2014. – Vol. 117, N 1. – P. 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2013.10.001>
22. Composition of Peripheral Blood Leukocytes of Pink Salmon *Oncorhynchus gorbuscha* and Chum Salmon *O. keta* (Salmonidae) during the Marine Life Period / I. I. Gordeev, L. V. Balabanova, T. A. Suvorova, D. V. Mikryakov // Journal of Ichthyology. – 2022. – Vol. 62, N 2. – P. 322–326. <https://doi.org/10.1134/s0032945222020060>

23. Hematological methods in fish – Not only for beginners / M. Witeska, E. Kondera, K. Ługowska, B. Bojarski // *Aquaculture*. – 2022. – Vol. 547. – Art. 737498. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737498>
24. Soft Texture of Atlantic Salmon Fillets Is Associated with Glycogen Accumulation / J. S. Torgersen, E. O. Koppang, L. H. Stien [et al.] // *PLoS One*. – 2014. – Vol. 9, N 1. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085551>
25. Analysis of Titin in Red and White Muscles: Crucial Role on Muscle Contractions Using a Fish Model / M.-P. Wu, N.-Ch. Chang, Ch.-L. Chung [et al.] // *BioMed Research International*. – 2018. – Vol. 2018, N 1. – Art. 5816875. <https://doi.org/10.1155/2018/5816875>
26. Dietary carbohydrates influence muscle texture of olive flounder *Paralichthys olivaceus* through impacting mitochondria function and metabolism of glycogen and protein / J. Liu, K. Deng, M. Pan [et al.] // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10, N 1. – Art. 21811. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76255-3>
27. Powell, R. L. Cultivation and differentiation of satellite cells from skeletal muscle of the rainbow trout *Salmo gairdneri* / R. L. Powell, M. V. Dodson, J. G. Cloud // *Journal of Experimental Zoology*. – 1989. – Vol. 250, N 3. – P. 333–338. <https://doi.org/10.1002/jez.1402500314>
28. Satellite-like cells contribute to *pax7*-dependent skeletal muscle repair in adult zebrafish / M. A. Berberoglu, T. L. Gallagher, Z. T. Morrow [et al.] // *Developmental Biology*. – 2017. – Vol. 424, N 2. – P. 162–180. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2017.03.004>

References

1. Zhang L., Wu K., Li H., Zhan M., Wang S., Song E. [et al.]. Vitellogenin receptor mediates heat adaptability of oocyte development in mud crabs and zebrafish. *Nature Communications*, 2025, vol. 16, no. 1, art. 3722. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-59035-3>
2. Farmer D. T., Dukov J. E., Chen H.-J., Arata C., Hernandez-Trejo J., Xu P., Teng C. S., Maxson R. E., Crump J. G. Cellular transitions during cranial suture establishment in zebrafish. *Nature Communications*, 2024, vol. 15, no. 1, art. 6948. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50780-5>
3. Qin W., Liang F., Lin Sh.-J., Petree C., Huang K., Zhang Y., Li L., Varshney P., Mourrain P., Liu Y., Varshney G. K. ABE-ultramax for high-efficiency biallelic adenine base editing in zebrafish. *Nature Communications*, 2024, vol. 15, no. 1, art. 5613. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49943-1>
4. Kretov D. A., Folkes L., Mora-Martin A., Walawalkar I. A., Syedah N., Vanyustel K., Moxon S., Murphy G. J., Cifuentes D. The miR-144/Hmgn2 regulatory axis orchestrates chromatin organization during erythropoiesis. *Nature Communications*, 2024, vol. 15, no. 1, art. 3821. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47982-2>
5. Cardeira-da-Silva J., Wang Q., Sagvekar P., Mintcheva J., Latting S., Günther S., Ramadass R., Yekelchik M., Preussner J., Looso M., Junker J. P., Stainier D. Y. R. Antigen presentation plays positive roles in the regenerative response to cardiac injury in zebrafish. *Nature Communications*, 2024, vol. 15, no. 1, art. 3637. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47430-1>
6. Kirchberger S., Shoeb M. R., Lazic D., Wenninger-Weinzierl A., Fischer K., Shaw L. E. [et al.]. Comparative transcriptomics coupled to developmental grading via transgenic zebrafish reporter strains identifies conserved features in neutrophil maturation. *Nature Communications*, 2024, vol. 15, no. 1, art. 1792. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45802-1>
7. Kanungo J. Special Issue “Zebrafish: A Model Organism for Human Health and Disease”. *International Journal of Molecular Sciences*, 2025, vol. 26, no. 10, art. 4624. <https://doi.org/10.3390/ijms26104624>
8. Marques I. J., Lupi E., Mercader N. Model systems for regeneration: zebrafish. *Development*, 2019, vol. 146, no. 18, art. dev167692. <https://doi.org/10.1242/dev.167692>
9. Nauroy P., Guiraud A., Chlasta J., Malbouyres M., Gillet B., Hughes S., Lambert E., Ruggiero F. Gene profile of zebrafish fin regeneration offers clues to kinetics, organization and biomechanics of basement membrane. *Matrix Biology*, 2019, vol. 75–76, pp. 82–101. <https://doi.org/10.1016/j.matbio.2018.07.005>
10. Barulin N. V., Zharikova A. O. Use of danio rerio (zebrafish) to assess neurotoxicity of substances. *Aktual'nye problemy ekologii: sbornik nauchnykh statei, posvyashchennyi 60-letiyu fakul'teta biologii i ekologii: po itogam XIX mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Grodno, 1–4 oktyabrya 2024 goda)* [Current Issues in Ecology: A Collection of Scientific Articles Dedicated to the 60th Anniversary of the Faculty of Biology and Ecology: Based on the Results of the XIX International Scientific and Practical Conference (Grodno, October 1–4, 2024)]. Grodno, 2024, pp. 152–154 (in Russian).
11. Enny A., Flaherty K., Mori S., Turner N., Nakamura T. Developmental constraints on fin diversity. *Development, Growth and Differentiation*, 2020, vol. 62, no. 5, pp. 311–325. <https://doi.org/10.1111/dgd.12670>
12. Hardy A. R., Hale M. E. Sensing the structural characteristics of surfaces: texture encoding by a bottom-dwelling fish. *Journal of Experimental Biology*, 2020, vol. 223, no. 21, art. jeb227280. <https://doi.org/10.1242/jeb.227280>
13. Akimenko M.-A., Mari-Beffa M., Becerra J., Géraudie J. Old questions, new tools, and some answers to the mystery of fin regeneration. *Developmental Dynamics*, 2003, vol. 226, no. 2, pp. 190–201. <https://doi.org/10.1002/dvdy.10248>
14. Montes G. S., Becerra J., Toledo O. M., Gordilho M. A., Junqueira L. C. Fine structure and histochemistry of the tail fin ray in teleosts. *Histochemistry*, 1982, vol. 75, pp. 363–376. <https://doi.org/10.1007/BF00496739>
15. Becerra J., Montes G. S., Bexiga S. R., Junqueira L. C. Structure of the tail fin in teleosts. *Cell and Tissue Research*, 1983, vol. 230, no. 1, pp. 127–137. <https://doi.org/10.1007/BF00216033>
16. Pajalunga D., Mazzola A., Franchitto A., Puggioni E., Crescenzi M. Molecular and Cellular Basis of Regeneration and Tissue Repair. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2008, vol. 65, no. 1, pp. 8–15. <https://doi.org/10.1007/s00018-007-7425-z>
17. Loncarek J., Bettencourt-Dias M. Building the right centriole for each cell type. *Journal of Cell Biology*, 2018, vol. 217, no. 3, pp. 823–835. <https://doi.org/10.1083/jcb.201704093>

18. Kalbfuss N. Gönczy P. Towards understanding centriole elimination. *Open Biology*, 2023, vol. 13, no. 11, art. 230222. <https://doi.org/10.1098/rsob.230222>
19. Document 32010L0063. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes Text with EEA relevance. *EUR-Lex*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj/eng> (accessed 16.02.2026).
20. Reynolds E. S. T. The use of lead citrate at high pH as an electron-opaque stain in electron microscopy. *The Journal of Cell Biology*, 1963, vol. 17, no. 1, pp. 208–212. <https://doi.org/10.1083/jcb.17.1.208>
21. Flammang B. E. The fish tail as a derivation from axial musculoskeletal anatomy: an integrative analysis of functional morphology. *Zoology*, 2014, vol. 117, no. 1, pp. 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2013.10.001>
22. Gordeev I. I., Balabanova L. V., Suvorova T. A., Mikryakov D. V. Composition of Peripheral Blood Leukocytes of Pink Salmon *Oncorhynchus gorbuscha* and Chum Salmon *O. keta* (Salmonidae) during the Marine Life Period. *Journal of Ichthyology*, 2022, vol. 62, no. 2, pp. 322–326. <https://doi.org/10.1134/S0032945222020060>
23. Witeska M., Kondera E., Ługowska K., Bojarski B. Hematological methods in fish – Not only for beginners. *Aquaculture*, 2022, vol. 547, art. 737498. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737498>
24. Torgersen J. S., Koppang E. O., Stien L. H., Kohler A., Pedersen M. E., Mørkøre T. Soft Texture of Atlantic Salmon Fillets Is Associated with Glycogen Accumulation. *PLoS One*, 2014, vol. 9, no. 1. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085551>
25. Wu M. P., Chang N.-Ch., Chung Ch.-L., Chiu W.-Ch., Hsu Ch.-Ch., Chen H.-M., Sheu J.-R., Jayakumar T., Chou D.-S., Fong T.-H. Analysis of Titin in Red and White Muscles: Crucial Role on Muscle Contractions Using a Fish Model. *BioMed Research International*, 2018, vol. 2018, no. 1, art. 5816875. <https://doi.org/10.1155/2018/5816875>
26. Liu J., Deng K., Pan M., Liu G., Wu J., Yang M., Huang D., Zhang W., Mai K. Dietary carbohydrates influence muscle texture of olive flounder *Paralichthys olivaceus* through impacting mitochondria function and metabolism of glycogen and protein. *Scientific Reports*, 2020, vol. 10, no. 1, art. 21811. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76255-3>
27. Powell R. L., Dodson M. V., Cloud J. G. Cultivation and differentiation of satellite cells from skeletal muscle of the rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Journal of Experimental Zoology*, 1989, vol. 250, no. 3, pp. 333–338. <https://doi.org/10.1002/jez.1402500314>
28. Berberoglu M. A., Gallagher T. L., Morrow Z. T., Talbot J. C., Hromowyk K. J., Tenente I. M., Langenau D. M., Amacher S. L. Satellite-like cells contribute to *pax7*-dependent skeletal muscle repair in adult zebrafish. *Developmental Biology*, 2017, vol. 424, no. 2, pp. 162–180. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2017.03.004>

Информация об авторах

Островский Александр Александрович – д-р мед. наук, профессор, вед. науч. сотрудник. Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси (пл. Антония Тызенгауза, 7, 230023, г. Гродно, Республика Беларусь). E-mail: astrowski@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8647-3922>

Бородина Татьяна Александровна – науч. сотрудник. Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси (пл. Антония Тызенгауза, 7, 230023, г. Гродно, Республика Беларусь). E-mail: tatsyana.baradzina@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0004-9607-7471>

Островская Оксана Борисовна – канд. мед. наук, доцент, ст. науч. сотрудник. Гродненский государственный медицинский университет (ул. Горького, 80, 230009, г. Гродно, Республика Беларусь). E-mail: astrowskaja@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-3513-2014>

Information about the authors

Aliaksandr A. Astrowski – D. Sc. (Med.), Professor, Leading Researcher. Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National Academy of Sciences of Belarus (7, Antoni Tyzenhauz Sq., 230023, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: astrowski@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8647-3922>

Tatsiana A. Baradzina – Researcher. Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National Academy of Sciences of Belarus (7, Antoni Tyzenhauz Sq., 230023, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: tatsyana.baradzina@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0004-9607-7471>

Aksana B. Astrowskaja – Ph. D. (Med.), Associate Professor, Senior Researcher. Grodno State Medical University (80, Gorkogo Str., 230009, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: astrowskaja@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-3513-2014>