

Научно-исследовательская работа  
Биология

# ОСОБЕННОСТИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РЫБ ZEBRAFISH

*Выполнила проект:*

**Колосова Софья Павловна**

*учащаяся 11«Б» класса*

*МОУ «Лицей № 11 Ворошиловского  
района Волгограда», Россия*

*Научный руководитель проекта:*

**Дворяшина Ирина Александровна**

*старший преподаватель кафедры  
гистологии, эмбриологии, цитологии  
ВолгГМУ, Россия, г.Волгоград*

*Руководитель проекта:*

**Сергиенко Галина Александровна**

*старший методист, учитель географии  
МОУ «Лицей № 11 Ворошиловского  
района Волгограда», Россия*



## Введение

Научный прогресс не стоит на месте. В медицине все новые препараты и болезни были исследованы с использованием экспериментальных животных, как правило грызунов. Однако научное сообщество находится в постоянном поиске новых экспериментальных моделей<sup>1</sup>. В природе известен такой вид рыб как Zebrafish, на которых проводят исследования все больше учёных, в том числе молекулярных биологов и эмбриологов<sup>2</sup>. Узнав об этом виде рыб, мы решили исследовать его более подробно. Изучение этой темы может пригодиться для учеников 8-ых классов. Так как особенности пищеварительной системы этих рыб схожа по строению с пищеварительной системой человека. И в дальнейшем обучающимся будет легче изучать программу 9-го класса, так как до этого они уже были знакомы с подобным.

Мы задались **целью**: Выяснить особенности микроанатомии желудочно-кишечного тракта Zebrafish.

Мы поставили перед собой **задачи**:

- ✓ Собрать информацию о желудочно-кишечном тракте этих рыбах;
- ✓ Провести исследования;
- ✓ Резюльтивировать всю работу и выявить, что нового мы узнали после проделанных опытов.

**Актуальность** – Этими рыбками занимаются научно-исследовательские институты по всему миру, в том числе один в Санкт-Петербурге, в Норвегии, США. За 2019 год написано более пяти научных статей с использованием зебрафиш, а за 2020 около трёх.

**Объект** нашего исследования – пищеварительная система Zebrafish.

**Предмет** нашего исследования – особенности пищеварительной системы Zebrafish.

**Метод** нашего исследования – аналитический.

Объём работы составляет 18 страниц, включая: титульный лист, введение, теоретическую часть, практическую часть, список литературы и приложение к работе со списком научных терминов. Использовано 7 научных источников, в работе есть фотографии гистологических блоков с электронного микроскопа, а также фотографии самих рыб.

# ГЛАВА I. РЫБЫ.

## 1.1. Рыбы.<sup>1</sup>

Рыбы (лат. Pisces) — парафилетическая группа<sup>3</sup> гидрофитных<sup>4</sup> позвоночных животных. Обширная группа челюстноротых, которым свойственно жаберное дыхание на всех стадиях постэмбрионального развития<sup>5</sup> организма. Рыбы обитают как в солёных, так и в пресных водоёмах — от бездонных океанических впадин до горных ручьёв. Рыбы играют значимую роль во множестве гидрофитных экосистем как составляющая пищевых цепей.

Современные рыбы обладают размерами от 7,9 мм (*Paedocypris progenetica*) до 20 м (китовая акула).

Во всём мире общеизвестно (на 2020 год) о 34300 видах рыб, однако постоянно описываются новые виды рыб. Ежегодно описывается около 300—500 новых для науки видов. В России обитает около 3000 видов, в том числе в пресных водах встречается более 280 видов.

Исследованию рыб посвящена область зоологии — ихтиология.

### 1.1.1. Происхождение и эволюция<sup>2</sup>

Считалось, что более древние бесчелюстные животные, напоминающие рыб, известны из раннего ордовика (около 450—470 миллионов лет назад). Однако в 1999 году в китайской провинции Юньнань были найдены окаменелости рыбообразного создания *Naikouichthys* из группы бесчелюстных возрастом около 530 миллионов лет (ранний кембрий). Возможно, похожие формы были предками всех позвоночных.

Отличием первоначальных рыб от бесчелюстных стала челюсть, производное одной из жаберных дуг<sup>6</sup>. Помимо челюстей, рыбы обладают парными плавниками, внутренним ухом с тремя полукружными каналами и жаберными дугами.

На сегодняшний день существует 900—1000 видов хрящевых рыб.

### 1.1.2. Анатомия и физиология.

#### 1.1.2.1. Внешние покровы.

Наружные покровы рыб представлены шкурой с чешуёй (у определённых рыб чешуя отсутствует). Как и у всех иных позвоночных, кожу рыб различают на дерму и эпидермис. Эпидермис у рыб неороговевающий. Железы в эпидермисе производят мускусоподобный секрет, который предохраняет наружные покровы животного.

В формировании чешуи большую значимость играет внутренний слой кожи — дерма. Хрящевые рыбы обладают плакоидную чешую<sup>7</sup>, которая гомологична<sup>8</sup> зубам всех позвоночных; двигаясь в ходе эволюции на челюсти, плакоидные чешуи, собственно, и образуют зубы у акул и скатов.

Плакоидная чешуя складывается из дентина, который сформировывает базу чешуй, а сверху защищена эмалью. По химическому составу дентин и эмаль акул

<sup>1</sup> Трайтак Д.И., Биология: Ботаника: Зоология: Анатомия, физиология и гигиена человека: Общая биология: Справ. материалы: Учеб. пособие для учащихся. – Д.И. Трайтак, В.А. Карьенов, Е.Т. Бровкина и др.; Под ред. Д.И. Трайтака. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1987. –207 с.: ил.

<sup>2</sup> Билич Г.Л. и Крыжановский В.А., Б61 Универсальный атлас. Биология. В 3-х кн. Кн. 2. Вирусы. Прокариоты. Растения. Грибы. Слизевки. Животные (сравнительная анатомия), Издательский дом «ОНИКС 21 век», –М.: 2005. –1136с.: ил.

идентичны с дентином и эмалью зубов человека. Утраченные плакоидные чешуи не возобновляются, однако при росте рыбы их число увеличивается.

#### 1.1.2.2. Скелет и мышечная система

Опорно-двигательная система рыб — система органов и тканей рыб, которая позволяет им менять своё расположение в окружающем мире и осуществлять движение. Доли опорно-двигательной системы<sup>9</sup>, вследствие эволюционных видоизменений, приспособлены ещё и для выполнения иных специфических функций. В отличие от наземных позвоночных, череп которых складывается из сращённых костей, больше 40 костных частей черепа рыб могут подвигаться независимо. Это позволяет растягивать челюсти, раздвигать их в стороны, спускать жаберную установку и дно ротовой полости.

Подвижные элементы закрепляются к более жёстко связанному нейрокраниуму, который окружает головной мозг. Нейрокраниум<sup>10</sup> костяных рыб в эволюции завязывается из хрящевого черепа хрящевых рыб, к какому прирастают дерматологические костяные пластинки<sup>11</sup>. В течение питания мышцы, которые опускают комплекс нижней челюсти, сдвигают данный комплекс, следовательно, что челюсти выдвигаются вперед. При всём при этом в ротовой полости создаётся всасывающая сила посредством опускания дна рта. Жаберные крышки при этом покрывают жабры. Подобная комбинация процессов движения приводит к всасыванию воды и втягиванию еды в рот.

Двигатель при плавании рыб создаётся плавниками: парными и непарными. При всём при этом, у костных рыб плавники состоят из костных лучей, соединённых перепонкой. Присоединённые к основным лучам мышцы могут разворачивать либо свёртывать плавник, менять его ориентацию или генерировать (воспроизводить) волнообразные движения. Хвостовой плавник, у большинства рыб представляется основным движителем, поддерживается комплексом специальных сплюснутых костей и ассоциированных с ними мышц в добавок к боковым мышцам туловища. По соотношению габаритов верхней и нижней лопасти хвостовой плавник может быть гомоцеркальным<sup>12</sup> или гетероцеркальным<sup>13</sup>.

Позвоночник рыб складывается из отдельных, не сращённых позвонков. Позвонки рыб амфицельные<sup>14</sup>, посреди позвонков находится хрящевая прослойка; невральные дуги, находящиеся сверху над телами позвонков, сформировывают спинальный (позвоночный) канал, закрывающий спинной мозг. Позвоночник подразделяется на два отдела: корпусный (туловищный) и хвостовой. От позвонков корпуса в стороны отходят рёберные отростки, к ним крепятся рёбра. В хвостовом участке хребта (позвоночника) боковых отростков нет, однако помимо невральной дуги имеется гемальная (сосудистая) дуга, которая прикрепляется к позвонку снизу и защищает проходящий в ней большой кровеносный сосуд — абдоминальную (брюшную) аорту<sup>15</sup>. От невральных<sup>16</sup> и гемальных<sup>17</sup> дуг вертикально вверх и вниз опускаются заострённые остистые отростки.

#### 1.1.2.3. Кровеносная система и газообмен

У большинства рыб один круг кровообращения и двухкамерное сердце. У двоякодышащих рыб два круга кровообращения и неполные перегородки в

предсердии и желудочке. Кровеносная система замкнутая, транспортирует кровь через сердце сквозь жабры и ткани тела. Отлично от сердца иных позвоночных, сердце рыб не приспособлено для отделения (даже частичного) насыщенной кислородом крови (артериальной) от ненасыщенной (венозной). Структурно сердце рыб представляет собой поочерёдную серию из камер, наполненных венозной кровью: сосудистый (венозный) синус<sup>18</sup>, предсердие, желудочек и артериальный конус<sup>19</sup>. Камеры сердца поделены клапанами, которые позволяют крови при сокращении (сжатии) сердца передвигаться только в одном направлении (от венозного синуса к артериальному конусу), а не наоборот.

Ключевым органом газообмена рыб представлены жабры, которые находятся по противоположным сторонам ротовой полости. У костистых рыб они перекрыты жаберной крышкой, у иных классов — беспрепятственно приоткрываются наружу. В течение вентиляции жабр, вода попадает в ротовую полость через рот, а после проходит промеж жаберных дуг и выходит наружу из-под жаберных крышек. Анатомически жабры состоят из полупроницаемых мембран и кровеносных сосудов, которые находятся на костных жаберных дугах. Особой структурой, адаптированной для газообмена, являются жаберные лепестки, где под тонким эпителием находятся сильно разветвлённые капилляры. В дополнение к жабрам, рыбы могут использовать и другие способы газообмена. На стадии личинки значительная часть газообмена осуществляется через кожу; несколько видов рыб имеют «лёгкие», где храниться увлажнённый воздух (*Amia*; ильная рыба); некоторые виды могут дышать воздухом непосредственно (*Гурами-нитеносцы*).

#### 1.1.2.4. Пищеварительная система и питание

Пищу рыбы захватывают и удерживают зубами (обычно не имеющими чёткого разделения), находящимися во рту. Из рта через глотку и далее через пищевод пища попадает в желудок, где подвергается обрабатыванию ферментами, содержащимися в желудочном соке. После желудка пища попадает в тонкую кишку с протоками печени и поджелудочной железы, а затем через анальное отверстие или клоаку выводятся наружу непереработанные фрагменты пищи.

Рыбам присущ большой диапазон пищевых объектов и способов питания. Не касаясь частностей все рыбы могут быть распределены на растительноядных, хищников, детритофагов<sup>20</sup> и всеядных. Растительноядные рыбы могут насыщаться как макро-, так и микроводорослями, а также гидрофитными цветковыми растениями. Отдельные из подобных рыб приспособлены к кормлению планктоном, фильтруя его специализированными жаберными тычинками на жаберных дугах: так, различные виды толстолобиков питаются только за счёт данного ресурса и являются абсолютно определёнными рыбами-фильтраторами микроскопических водорослей, какие водятся в толще воды.

Плотоядные (хищные) рыбы употребляют в качестве пищевого ресурса широкий диапазон объектов. Планктонные фильтраторы (такие, как китовая акула) отфильтровывают зоопланктон из толщи воды; кроме того, рыбы могут насыщаться ракообразными, моллюсками, плоскими, круглыми и кольчатыми червями, и другими рыбами. Преимущественно специализированными из хищных рыб являются те, которые питаются эктопаразитами<sup>21</sup> прочих рыб: они выбирают

паразитов и омертвевшие куски кожи с поверхности туловища рыб-«клиентов», какие нарочно посещают места обитания «чистильщиков». Многочисленные виды рыб изменяют тип питания во время жизни: например, в молодом возрасте кормятся планктоном, а позже — рыбами или крупными беспозвоночными.

#### 1.1.2.5. Выделительная система и осморегуляция

Жизнедеятельность в водной среде приводит к строю проблем с осморегуляцией<sup>22</sup>, с которыми встречаются как пресноводные, так и морские рыбы. Осмотическое давление крови рыб может быть как ниже (у морских рыб), так и выше (у пресноводных), чем осмотическое давление окружающей среды. Хрящевые рыбы — изоосмотические<sup>23</sup>, но при этом в их организме концентрация солей заметно ниже, чем во внешней среде. Выравнивание осмотического давления при этом достигается вследствие повышенного содержания мочевины и ТриМетилАминОксида (ТМАО) в крови. Удержание низкой концентрации солей в организме хрящевых рыб исполняется благодаря выделению солей почками, а вдобавок специализированной ректальной (анальной) железой, которая соединяется с пищеварительным трактом. Анальная железа концентрирует и выводит как ионы натрия, так и хлорид-ионы из крови и тканей организма.

Костистые рыбы не являются изоосмотическими, следовательно в процессе эволюции сформировали механизмы, позволяющие реализовывать вывод или задержку ионов. Морские костистые рыбы с невысокой (относительно окружающей среды) концентрацией ионов в организме безостановочно теряют воду, которая под действием осмотического давления<sup>24</sup> выходит из их тканей наружу. Эти потери возмещаются за счёт питья и фильтрации солёной воды. Катионы<sup>(+)</sup> натрия и хлорид-ионы<sup>(+/-)</sup> выводятся из крови через жаберные мембраны, в то время как катионы магния и сульфотные анионы<sup>(-)</sup> выводятся почками. Пресноводные рыбы встречаются с противоположной проблемой (так как у них концентрация солей в организме выше, нежели в окружающей среде). Осмотическое давление у них выравнивается благодаря захвату ионов из водной среды через жаберные мембраны, а также благодаря выделению большого количества мочевины.

#### 1.1.2.6. Экология рыб

Рыбы обитают в воде, которая занимает большие пространства. Около 361 млн км<sup>2</sup>, или 71 % всей поверхности земного шара, занято морями и океанами, и 2,5 млн км<sup>2</sup> — внутренними водоёмами. Рыбы находятся от высокогорных водоёмов (более 6000 м над уровнем океана) до величайших глубин Мирового океана (11022 м). Рыб также встречают в полярных водах и тропических зонах. В настоящее время рыбы — главенствующая группа животных в водных биоценозах. Вместе с китообразными, они завершают цепи питания. Рыбы проронорились к различным условиям водной среды.

Факторы, воздействующие на них, разделяют:

1. Биотические факторы — воздействие живых организмов, окружающих рыбу и вступающих с ней в различные взаимоотношения;
2. Абиотические факторы — физико-химические свойства среды обитания.

К наиболее значимым абиотическим факторам относятся температура воды, солёность, содержание газов.

По местам обитания отличают морских, пресноводных и проходных рыб.

При достаточно крупном многообразии видов образа жизни всех рыб можно включить в состав нескольких экотипов:

1. Литоральные (планктон) — водятся в прибрежной зоне (бычки, морские собачки);
2. Пелагические (нектон) — обитают в толще воды;
3. Донные (нектобентос) — например, скаты, камбалы, сомы.

Многочисленные виды рыб содержатся в неволе — в аквариумах. Содержание и разведение аквариумных рыб в определённых вариантах помогает сберечь необыкновенные их виды, вымирающие в исконных местах обитания.

## 1.2. Научная классификация Zebrafish

|            |                            |
|------------|----------------------------|
| Домен:     | <u>Эукариоты</u>           |
| Царство:   | <u>Животные</u>            |
| Тип:       | <u>Хордовые</u>            |
| Подтип:    | <u>Позвоночные</u>         |
| Класс:     | <u>Лучепёрые рыбы</u>      |
| Подкласс:  | <u>Новопёрые рыбы</u>      |
| Отряд:     | <u>Карпообразные</u>       |
| Семейство: | <u>Карповые</u>            |
| Род:       | <u>Данио</u>               |
| Вид:       | <u>Данио-рерио GloFish</u> |

**Не мало известные трактовки названия:** Данио-рерио/ Danio rerio, «Дамский чулок», брахиданио-рерио, Зебрафиш/ Zebrafish.

## 1.3. Род карповые<sup>3</sup>

Карповые — семейство лучепёрых рыб из отряда карпообразных. Тело чаще всего покрыто чешуёй; голова голая; край верхней челюсти образован межчелюстными костями; брюхо округлено, а если и имеет заострённый край, то без окостенений; жировых плавников нет; рот беззубый, но нижнеглоточные кости неплохо сформированны и обладают 1, 2 либо 3 рядами (нередко жевательных) зубов; размельчению пищи данными зубами способствует толстая роговая пластинка на расширенном конце выроста основания черепа. У некоторых видов по уголкам рта есть короткие усики, выполняющие роль вкусовых рецепторов. Самое многочисленное семейство пресноводных рыб; далеко не все обитают и в солоноватой воде (при устьях рек, в Чёрном и Каспийском морях и т. п.). В состав семейства включают 367 родов с 3006 видами. Ежегодно описывается несколько десятков новых видов, в основном из Юго-Восточной Азии.

Карповые находятся на всей Земле, помимо Южной Америки (они не находятся южнее Мексики, однако повсеместно встречаются в водоёмах аргентинской пампы, куда были интродуцированы во второй половине XIX ст., считается сорной рыбой) и их не было в Австралии (после интродукции карпы

---

<sup>3</sup> Семейство карповых. Описание рода карповых рыб. Ссылка.



стали самой общераспространённой рыбой в Австралии), более только их в умеренном поясе Северного полушария; питаются живой и мёртвой растительной и животной пищей; некоторые очень плодовиты; у самцов во время размножения часто развивается особый «брачный наряд»: они получают более яркую окраску (чаще всего появляется розовый цвет), на голове, туловище и плавниках появляются бородавкообразные выросты. Зимой в основном прячутся на дне или зарываются в ил и впадают в зимнюю спячку. Некоторые карповые разводятся в прудах (кап, карась), а многие служат предметом более или менее значительного промысла.

#### 1.4.GloFish<sup>4</sup>

**GloFish** — запатентованный коммерческий бренд, под которым продаются генетически модифицированные флуорисцирующие аквариумные рыбки. Наименование образовано двумя английскими словами: glow — «сияющий», «свечение» и fish — «рыба». Под таким брендом трансгенные рыбки<sup>25</sup> продаются на территории Америки, однако официальным их производителем считается корпорация Тайконг в Тайване.

Предварительно это были данио рерио — вид неприхотливых и популярных аквариумных рыбок семейства карповых. Характерной особенностью искусственно выведенных генетической модификацией особей GloFish от исходной формы приходит красная, зеленоватая или оранжевая флуоресцентная окраска, которая становится более видимой и интенсивной при ультрафиолетовом освещении. Впрочем, изначально рыбки выводились не в качестве декоративных, они стали первоначальным общедоступным генетически дидоизменённым домашним животным.

##### 1.4.1.Особенности GloFish

Трансгенные данио отличаются от своей начальной формы окраской тела. В их ДНК встроены фрагменты ДНК медузы (лат. *Aequorea Victoria*) и красного коралла (из рода лат. *Discosoma*). Данио с фрагментом ДНК медузы (ген GFP) обладают зелёным цветом, с ДНК коралла (ген RFP) — красный, а рыбки, в генотипе которых находятся оба фрагмента — жёлтые. Вследствие присутствия данных чужеродных белков рыбки ярко светятся при ультрафиолетовом свете.

Трансгенная форма предпочитает более тёплую воду — около 28 °С. Содержание, кормление или отличия в разведении и развитии генетически модифицированных Данио рерио не замечены: трансгенные рыбки так же неприхотливы в содержании и миролюбивы.

Все особи GloFish с момента рождения владеют люминесцентной окраской, которая сохраняется всё существование и становится ярче по мере взросления рыбки. Светящаяся окраска передается малькам при размножении трансгенных видов.

##### 1.4.2.История GloFish

Природный данио рерио, из которого был выведен GloFish, водится в реках Индии и Бангладеш. Он имеет размеры порядка 3-х см в длину, золотые и синие полосы, находящиеся вдоль тела. За прошедшие 50 лет на рынке декоративных

---

<sup>4</sup> GloFish. Особенности, история рыб. Ссылка.

рыб в США данных рыбок было продано на сумму более 200 млн долл., однако несмотря на это, их воспроизводством в США никто не занимался, в первую очередь потому, что они являются тропическими рыбками и не имеют возможности существовать в условиях умеренного североамериканского климата.

Обыкновенные Данио-рерио были использованы для генетического опыта по созданию GloFish.

В 1999 году доктор Чжиюань Гун и его коллеги из Национального университета Сингапура работали с геном зелёного флуоресцентного белка (GFP), каких природа наградила исключительно отдельных тихоокеанских медуз. Данный ген<sup>26</sup> отвечает за синтез белка-люминофора, который в темноте источает проблески приятного зелёного цвета. Они вставили данный ген в эмбрион данио рерио, что позволило образовать генотип<sup>27</sup>, какой придавал рыбам яркую флуоресцентную расцветку как от природного белого света, так и от ультрафиолетового излучения.

Начальной целью генетических инженеров было упростить мониторинг за внутренними органами данных полупрозрачных рыб. Но фотографию светящейся зелёным светом рыбки, показанную на научной конференции, увидел представитель компании, занимающейся разведением и продажей аквариумных рыб. По заказу компании в геном данио добавили ещё ген красного свечения, выделенный из морского коралла. Полученную породу наименовали «Ночная жемчужина». Особи, получившие гены ДНК медузы и коралла светятся желтоватым цветом.

В США светящиеся данио поначалу были получены с целью создания живых индикаторов загрязнения: при наличии в воде определённых токсических веществ рыбки должны были менять окраску. Но в 2003 году бизнесмены и учёные заключили контракт, по которому на рынке возникла первая генетически модифицированная рыбка GloFish.

### 1.5. Описание Zebrafish<sup>5</sup>

Вид пресноводных лучепёрых рыб семейства карповых. Известная аквариумная рыбка. Является модельным организмом в биологии развития и известна в англоязычной литературе как zebrafish. В отечественной научной литературе устоявшегося, удачного термина для этого вида нет (однако, «зебраданио» может являться одним из приемлемых вариантов). Данио-рерио прибывает основным домашним животным, генетически модифицированным генами биолюминесценции в 2003 году.

Эта аквариумная рыбка (Фот.1) имеет размер 2,5—4 сантиметра, длинное прогонистое тело, основной тон серебристый с ярко-синими полосами. У молодых рыб плавники короткие, со временем они отрастают и образуют вуаль (есть также длиноплавниковые линии). Края плавников могут быть окрашены в



(Фот.1)

<sup>5</sup> Монте Вестерфилд, Институт неврологии РАН, университет Орегона. THE ZEBRAFISH BOOK. 1993.

жёлтый цвет. Особым свойством является брюшко — у самки оно значительно толще.

Населяет реки и ручьи Пакистана, Индии, Бангладеш, Непала, Мьянмы и Бутана.

#### 1.5.1. Селекционные<sup>28</sup> формы

1. с вуалевыми плавниками;
2. леопардовый окрас;
3. трансгенные GloFish.

Впервые вид Zebrafish был описан канадским зоологом Ф. Гамильтоном в 1822 году.

#### 1.5.2. Зебрафиш: цифры и факты

1. Секвенированный геном зебрафиш включает 26 206 генов, кодирующих белки.

2. 71,4% генов зебрафиш прибывают ортологами генов человека.

3. 82% генов зебрафиш обладают ассоциацией с генами заболеваний человека.

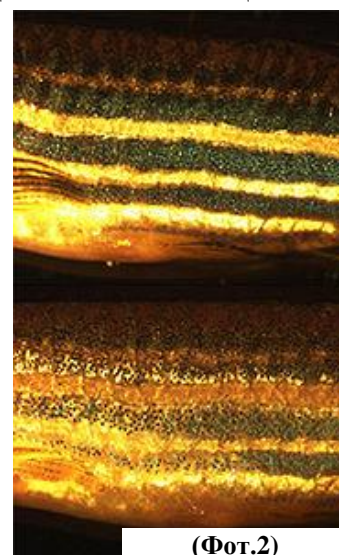
4. Фармакологические мишени зебрафиш схожи на 90% с мишенями человека.

#### 1.6. Лабораторное применение рыб Zebrafish<sup>6</sup>

*Danio rerio* был предложен Джорджем Стрейсингером в качестве модели для изучения эмбрионального формирования и функций генов позвоночных. Значимость данного модельного организма была подтверждена многими генетическими исследованиями. Zebrafish — один из немногих видов рыб, которые побывали на орбитальной космической станции.

При изучении биологии развития *Danio rerio* обладает некоторыми преимуществами над остальными позвоночными. Эмбрион развивается быстро и проходит стадии от яйца до личинки всего за три дня. Эмбрионы крупные, выносливые, крепкие, прозрачные и развиваются вне матери, что упрощает манипуляции с ними и наблюдение. Имеется порядочный потенциал в использовании *Danio rerio* в качестве модели для фенотипического скрининга<sup>29</sup> потенциальных лекарственных веществ благодаря скорости и удобству работы с ними.

Несмотря на достаточно невысокую схожесть между человеком и рыбами, многие системы данных организмов, в частности, сердечно-сосудистая система, взаимодействуют с низкомолекулярными соединениями аналогичным образом. Достоверные результаты могут быть получены при исследовании фармакокинетики<sup>30</sup> и токсичности препаратов. Технологиями генной инженерии<sup>31</sup> могут быть разработаны линии *Danio rerio*, специфически моделирующие всевозможные заболевания человека.



<sup>7</sup> *Danio rerio* с мутантной окраской (Фот.2) был получен инсерционным мутагенезом<sup>32</sup>. Мутант утрачивает черный пигмент в меланоцитах<sup>33</sup>, так как не

<sup>6</sup> Клаудия Харпер, Кристиан Лоуренс, – Прессе CRC –The Laboratory Zebrafish, 2010. – 274 стр.: ил.

<sup>7</sup> WORDISK. Zebrafish. Scientific research. Режим доступа [[https://worddisk.com/wiki/Danio\\_rerio/](https://worddisk.com/wiki/Danio_rerio/)]

способен синтезировать меланин. Животному на фото четыре дня. В верхней части фотографии — животное дикого типа.

Хроматофоры *Danio rerio*, которые обеспечивают покровительствующую (доминантную) окраску, являются модельным объектом изучения молекулярной биологии<sup>34</sup> и биологии развития<sup>35</sup>.

Зебрафиш (*Danio rerio*) – инновационная *in vivo* модель нового поколения для биомедицинских исследований.

## Глава II. ОПЫТЫ, ПРОВОДИМЫЕ НАД РЫБАМИ ZEBRAFISH.

### 1.1. Материалы и методы исследования особенностей пищеварительной системы рыб Zebrafish.



Исследования проводили на рыбках-самцах, для этого половозрелых особей подвергли эвтаназии, после чего зафиксировали в фиксирующем растворе Девидсона.

Состав фиксирующего раствора Дэвидсона:

1. Ледяная уксусная кислота, 100 мл
2. 95% этиловый спирт, 300 мл
3. 0% нейтральный забуференный формалин, 200 мл

200 мл

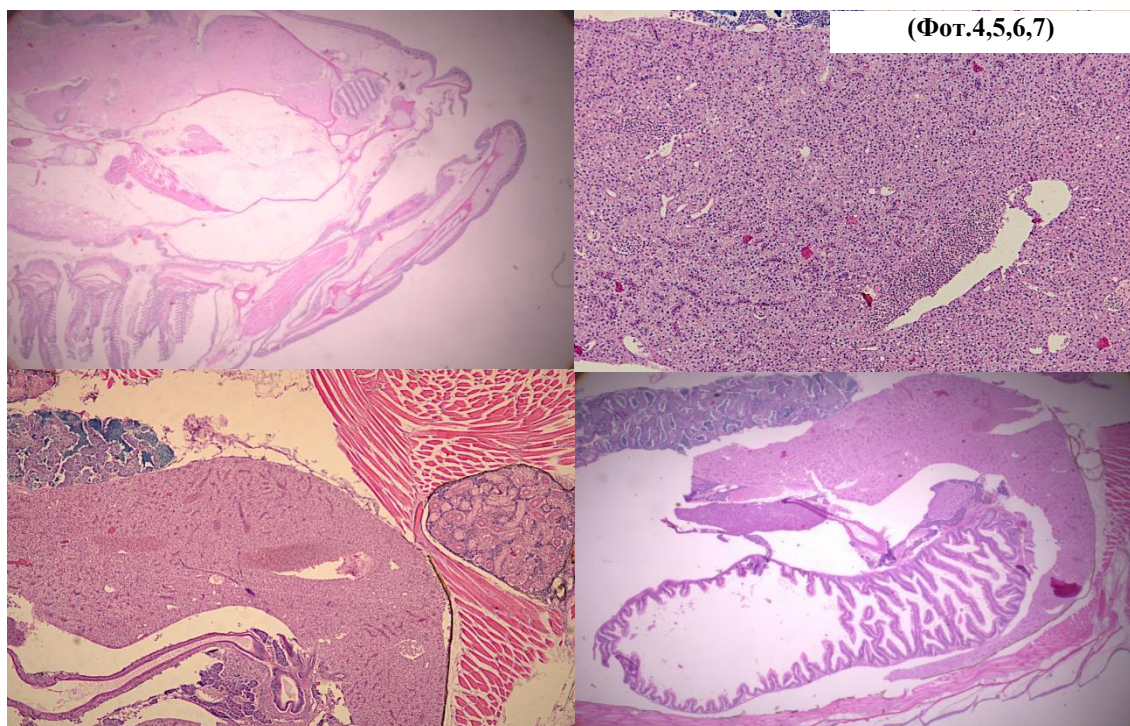
4. Вода дистиллированная, 300 мл

(Фот.3)

После фиксации (Фот.3) рыбок декальсифицировали<sup>36</sup> и провели по стандартной гистологической проводке.

После получения гистологических блоков, получили серийные гистологические срезы (Фот.4,5,6,7) на микротоме (Micros, Германия). Окрасили препараты гематоксилин-эозином, после чего микроскопировали и фотографировали (Zeiss, Германия).

(Все опыты проводились в: ФГБОУ ВО Волгоградский государственный медицинский университет, Учебный корпус №3. Под контролем и руководством Старшего преподавателя: Дворяшиной И. А.)



(Фот.4,5,6,7)

## Заключение

Пищеварительный тракт рыб Zebra Fish состоит из ротовой полости, глотки, пищевода, желудка, кишечника, который в свою очередь, состоит из тонкого и толстого, прямой кишки, пищеварительных желез (печень, желчный пузырь и поджелудочная железа) и плавательного пузыря, заканчивается пищеварительная система анальным отверстием. В ротовой полости отсутствуют зубы, но имеются глоточные зубы. В пищеводе, в отличие от млекопитающих отсутствуют слизистые клетки. В желудке отсутствуют железы, в кишечнике имеются столбчатые энтероциты и слизистые клетки. В целом по ходу желудочно-кишечного тракта отмечаются относительно тонкий мышечный и подслизистые слои. Поджелудочная железа имеет только экзокриную<sup>37</sup> порцию, которая во многом схожа по строению с экзокринной частью поджелудочной железы млекопитающих. Печень Zebra Fish имеет 3 доли, отсутствуют печеночные дольки<sup>38</sup>, но имеются портальные триады<sup>39</sup>. Печень рыб имеет схожие функции с печенью млекопитающих – поглощение, метаболизм, хранение, синтез и перераспределение питательных веществ; образование и выведение желчи, метаболизм ксенобиотиков<sup>40</sup>. Так же у рыб Zebra Fish имеется желчный пузырь, который так же имеется у людей и отсутствует у крыс.

**Выводы:** после исследования микроанатомии пищеварительной системы Zebra Fish, мы обнаружили, что печень имеет незначительные отличия в своём микроскопическом строении по сравнению с печенью млекопитающих, а значит исследования данного органа можно проводить с использованием этого экспериментального животного.

Мы считаем, что рыбки Zebra Fish подходят для экспериментальных работ. Так как, этот вид, является наиболее изученным модельным объектом среди рыб. И главными достоинствами Zebra Fish являются небольшие размеры, короткое время генерации, что позволяет рассматривать этих рыб как модельный объект экспериментов. Их эмбрионы также удобны в качестве тест-системы<sup>41</sup> при возможных мутагенных воздействиях окружающей среды. В целом, скрининг<sup>42</sup> с использованием Zebra Fish является удобной и простой технологией для новых терапевтических открытий.

## Список Литературы

1. GloFish. Особенности, история рыб. [<http://wikiredia.ru/wiki/GloFish>]
2. WORDISK. Zebrafish. Scientific research./Zebrafish. Научные исследования.
3. Билич Г.Л. и Крыжановский В.А., Б61 Унивесальный атлас. Биология. В 3-х кн. Кн. 2. Вирусы. Прокариоты. Растения. Грибы. Слизевика. Животные (сравнительная анатомия), Издательский дом «ОНИКС 21 век», –М.: 2005. – 1136с.: ил.
4. Клаудия Харпер, Кристиан Лоуренс, – Пресс CRC –The Laboratory Zebrafish, 2010. – 274 стр.: ил.
5. Монте Вестерфилд, Институт неврологии РАН, университет Орегона, THE ZEBRAFISH BOOK. 1993.  
Режим доступа [[http://zfin.org/zf\\_info/zfbook/zfbk.html](http://zfin.org/zf_info/zfbook/zfbk.html)]  
Режим доступа [[https://worddisk.com/wiki/Danio\\_rerio/](https://worddisk.com/wiki/Danio_rerio/)]
6. Семейство карповых. Описание рода карповых рыб. [[https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_biology/804/%D0%A1%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE](https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biology/804/%D0%A1%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE)]
7. Трайтак Д.И., Биология: Ботаника: Зоология: Анатомия, физиология и гигиена человека: Общая биология: Справ. материалы: Учеб. пособие для учащихся. – Д.И. Трайтак, В.А. Карьенов, Е.Т. Бровкина и др.; Под ред. Д.И. Трайтака. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1987. –207 с.: ил.

## Приложение

### Список научных терминов

1 *экспериментальные модели* – модели животных используемые в определённых опытах/экспериментах.

2 *молекулярные биологи и эмбриологи* – это люди занимающиеся изучение биологии и эмбриологии на малекулярном и атомном строении.

3 *парафилетическая группа (Парафилия)* – это понятие в таксономии, где группы включают лишь часть потомков последнего общего предка.

*Таксономия* – Учение о принципах и практике классификации и систематизации сложноорганизованных иерархически соотносящихся сущностей.

4 *гидрофитные животные* – это обитающие в водной среде.

5 *постэмбриональное развитие* – это процесс индивидуального развития организма.

6 *жаберные дуги* – парные дугообразные хрящевые пластинки жаберного скелета низжиш позвоночных и зародышей высших позвоночных.

7 *плакоидные чешуйки* – это пластинки, лежащие в волокнистом слое кожи и заканчивающиеся зубцом с вершиной, направленной назад. В течении жизни рыбы, эта чешуя неоднократно меняется.

8 *гомологична* – подобна.

9 *доли опорно-двигательной системы* – это функциональная совокупность костей скелета, их соединений (суставов) и мышц.

10 *нейрокраниум* – группа прочно соединённых между собой костей черепа, закрывающих головной мозг сверху и с боков.

- 11 *дерматологические костяные пластинки* – это пластинки очень маленького размера, которые составляют костную ткань.
- 12 *гомоцеркальным* – когда обе лопасти имеют равную величину; характерно для большинства лучепёрых рыб.
- 13 *гетероцеркальным* – когда одна лопасть, обычно верхняя, больше другой; характерно для акул и скатов, а также осетровых; у таких представителей костных рыб как меченосцы хвостовой плавник гетероцеркальный с большей нижней лопастью.
- 14 *амфицельные* – когда обе торцевые поверхности позвонка вогнутые.
- 15 *аорта* – самый большой непарный артериальный сосуд большого круга кровообращения.
- 16 *невральные дуги* – ограничивают позвоночный канал, в котором располагается спинной мозг.
- 17 *гемальные дуги* – костная дуга на брюшной стороне хвоста позвоночного животного (рыбы).
- 18 *венозный синус* – отдел сердца у земноводных, рыб, круглоротых и у эмбрионов всех позвоночных. Служит местом для поступления и хранения крови из вен большого круга кровообращения.
- 19 *артериальный конус* – пульсирующая мускулистая часть сердца, из которого берёт начало артериальная система рыб и земноводным.
- 20 *детритофаги* – это животные, которые питаются разлагающимся органическим материалом.
- 21 *эктопаразиты* – это паразиты, живущие на тела и не только животных и человека.
- 22 *осморегуляция* – это совокупность процессов, происходящих в живом организме, направленных на поддержание постоянного осмотического давления.
- 23 *изоосмотические растворы* – это водные растворы, изотоничные плазме крови. Простейшим раствором такого типа является так называемый физиологический раствор («физраствор»).
- 24 *осмотическое давление* – это избыточное гидростатическое давление на раствор.
- 25 *трансгенный организм* – это живой организм, в геном которого искусственно введён ген, который не может быть приобретён при естественном скрещивании.
- 26 *ген* – наследственный фактор, который несёт информацию об определённом признаке.
- 27 *геном* – совокупность генов, их расположение в хромосомах.
- 28 *селекция* – это наука о методах создания новых, и улучшения существующих пород животных, сортов растений и штаммов микроорганизмов.
- 29 *фенотипический скринг* – это выявление признаков заболевания на ранних стадиях до появления объективных симптомов.
- 30 *фармакокинетика* – это раздел фармакологии, изучающий кинетические закономерности химических и биологических процессов.
- 31 *генетическая инженерия* – это совокупность приёмов, методов и осуществление манипуляций с генами.

32 *инсерционный мутагенез* – это мутационное изменение генома.

33 *меланоциты* – это специализированные клетки кожи, вырабатывающие пигмент меланин.

34 *молекулярная биология* – это комплекс биологических наук, изучающих механизмы хранения, передачи и реализации информации.

35 *биология развития* – это раздел современной биологии, изучающий процессы индивидуального развития организма.

36 *декальсификация* – это вымывание или удаление солей кальция из костей.

37 *экзокринные железы* – это железы, которые вырабатывают свои вещества (секрет) и выводят их во внешнюю среду организма.

38 *печёночные дольки* – это морфофункциональная единица печени.

*Морфофункциональное состояние организма* – это особенности организма или его частей.

39 *портальные триады* – это образованы терминальными ветвями афферентных кровеносных сосудов (воротная вена и печеночная артерия) и желчными протоками, отводящими желчь из печеночных долек.

*Афферентные кровеносные сосуды* – это кровеносные сосуды, питающие сеть капилляров в том или ином органе.

40 *ксенобиотики* – это условная категория для обозначения чужеродных для живых организмов химических веществ.

41 *тест-система* – это совокупность медицинских установок.

42 *скрининг* – это комплекс обследований.