

**Региональная открытая конференция
по научно-техническому творчеству школьников
«Лабиринты науки»**

Секция экология

**Изучение влияния метилурацила на регенера-
цию хвостового плавника у *Danio rerio***

Выполнена ученицей
11 естественнонаучного класса
ГООУ ЯО Средняя школа
«Провинциальный колледж»
Дубровиной Марией Евгеньевной

Научный руководитель –
кандидат биологических наук, заме-
ститель директора по учебной работе
ГООУ ЯО Средняя школа
«Провинциальный колледж»
Фомичева Анна Николаевна

Ярославль, 2025

Оглавление

Введение.....	3
1. Обзор литературы.....	5
1.1. Понятие регенерации и факторы, влияющие на регенерацию.....	5
1.2. Влияние метилурацила на процессы регенерации	6
1.3. <i>Danio rerio</i> как тест-объект для изучения физиологических процессов.....	7
1.4. Особенности процессов регенерации у <i>Danio rerio</i>	9
Глава 2. Материалы и методы исследования	11
Глава 3. Результаты исследования	12
3.1. Скорость регенерации хвостового плавника у <i>Danio rerio</i> в стандартных для данного вида условиях при содержании в аквариуме.....	12
3.2. Оценка средней скорости прироста хвостового плавника у <i>Danio rerio</i> при воздействии метилурацила в концентрации 100 мг/л.....	13
3.3. Оценка средней скорости прироста хвостового плавника у <i>Danio rerio</i> при воздействии метилурацила в концентрации 200 мг/л.....	15
3.4. Оценка средней скорости прироста хвостового плавника у <i>Danio rerio</i> при воздействии различных концентраций метилурацила.....	16
Заключение	18
Выводы.....	18
Список использованных источников и литературы	19

Введение

Регенерация тканей является одним из наиболее удивительных и важных процессов, наблюдаемых в живых организмах. Способность восстанавливать поврежденные или утраченные структуры играет ключевую роль в выживании и адаптации к условиям окружающей среды. В последние годы внимание ученых привлекает использование различных фармакологических агентов, способствующих ускорению процессов регенерации. Одним из таких веществ является метилурацил, который известен способностью стимулировать процессы заживления и регенерации.

Одним из распространенных тест-объектов в принципе для биологических исследований для изучения скорости регенерации тканей являются рыбы *Danio rerio*. *Danio rerio* способны полностью восстанавливать повреждённые ткани и органы, что делает их удобным объектом для изучения механизмов регенерации у человека. У *Danio rerio* регенерация хвостового плавника представляет собой уникальную модель для изучения механизмов восстановления тканей, поскольку эти организмы обладают высокой способностью к регенерации. Эти особенности позволяют ученым проводить эксперименты и наблюдать за процессами регенерации в реальном времени.

Актуальность темы исследования обусловлена не только научным интересом, но и практическими аспектами, связанными с возможностью применения метилурацила в клинической практике и ветеринарии. Понимание механизмов регенерации тканей и влияние различных препаратов на эти процессы может привести к разработке новых методов лечения травм и заболеваний, что подчеркивает значимость данной работы, как в научном, так и в практическом контексте.

Цель работы - изучить влияния метилурацила на регенерацию хвостового плавника у *Danio rerio*.

В связи с поставленной целью решались следующие **задачи**:

1. Оценить скорость регенерации хвостового плавника у *Danio rerio* в стандартных для данного вида условиях при содержании в аквариуме.

2. Оценить скорость регенерации хвостового плавника у *Danio rerio* при воздействии различных концентраций метилурацила.
3. Сравнить скорость регенерации хвостового плавника у *Danio rerio* в стандартных условиях и при воздействии различных концентраций метилурацила.

Объект исследования: метилурацил.

Предмет исследования: влияние метилурацила на скорость регенерации хвостового плавника у *Danio rerio*.

Гипотеза исследования: метилурацил ускоряет регенерацию хвостового плавника у *Danio rerio*.

1. Обзор литературы

1.1. Понятие регенерации и факторы, влияющие на регенерацию

Регенерация (от позднелат. *regeneratio* – возрождение, возобновление) – восстановление растениями или животными утраченных или повреждённых органов и тканей, а также целого организма из его части (Григорян Э.Н., 2015). Это важный биологический механизм, который позволяет организмам восстанавливать свою целостность после травм, болезней или естественного износа. Способность к регенерации возникла в ходе эволюции как адаптивное свойство в ответ на жёсткие воздействия среды. Она проявляется в различной степени, как у разных видов организмов, так и на разных этапах их жизненного цикла (Григорян Э.Н., 2015).

У растений регенерация выражается в разных формах (физиологической, репаративной и репродуктивной) и является биологической основой вегетативного размножения. Она обусловлена генетически закрепленной способностью растений к естественному или искусственному вегетативному размножению (Фаустов В.В., 1987).

Способность к регенерации не имеет однозначной зависимости от уровня организации, хотя давно уже было замечено, что более низкоорганизованные животные обладают лучшей способностью к регенерации наружных органов (Ярыгин В.Н.).

Одни из самых примитивных многоклеточных — губки — могут буквально собрать себя заново, даже если их раскрошить на отдельные клетки. А многие беспозвоночные, такие как черви, медузы, кораллы и иглокожие, могут восстановить организм из фрагмента тела. У позвоночных животных регенерировать умеют все: от рыб до птиц и млекопитающих, однако большинство из них способно к этому лишь на ранних стадиях своего развития (Шувалова М., 2023).

Старение характеризуется изменениями, которые влияют на органы и функцию стволовых клеток. Сокращение теломер, повреждение ДНК, окислительный стресс, нарушение регуляции генов и белков, нарушение межклеточной коммуникации и изменение системной среды приводят к гибели клеток. В то же время снижается и восстановительная активность. Интересно, что старе-

ние обусловлено снижением регенеративных способностей. Модели на животных с высокой регенеративной способностью показывают, что процессы старения могут не влиять на регенерацию. Возрастные изменения в стволовых клетках жизненно важны для гомеостаза и восстановления тканей. Окончательно установлено, что регенерация позвоночных снижается с возрастом из-за потери функции стволовых клеток. Будущие исследования по улучшению функций стволовых клеток, а также исследования на рыбах и земноводных, у которых регенерация не снижается с возрастом, несомненно, позволят лучше понять оба процесса (Гилберд В., Серинг И.М., 2019).

Значение регенерации для организма определяется тем, что на основе клеточного и внутриклеточного обновления органов обеспечивается широкий диапазон приспособительных колебаний их функциональной активности в меняющихся условиях окружающей среды, а также восстановление и компенсация нарушенных под воздействием различных патогенных факторов функций. (Физиологическая регенерация: сущность, биологическое значение, уровни). Также на уровень регенерации могут влиять оптимальность условий обитания организма, его состояние на момент утраты органов, особенности питания и др.

1.2. Влияние метилурацила на процессы регенерации

Метилурацил (6-метилурацил; 6-метил- 2,4-пиримидиндион; 6-метил-1,2,3,4- тетрагидропиримидин; диоксометилтетрагидропиримидин) — это лекарственное средство, которое относится к группе стимуляторов регенерации тканей. Он широко используется в медицине для ускорения процессов заживления и восстановления тканей. Он обладает анаболическим действием.

Метилурацил является структурным аналогом пиримидиновых оснований — урацила и тимина, входящих в состав РНК и ДНК. Нормализуя нуклеиновый обмен, стимулирует процессы клеточной регенерации и заживления ран, ускоряя рост, грануляционное созревание ткани и эпителизацию. Фармакологическое действие метилурацила заключается в усилении роста и размножения клеток, улучшая течение регенерации в поврежденных тканях. Экспериментально установлено, что метилурацил обладает анаболической активностью; способ-

ствует заживлению ран, стимулирует клеточные и гуморальные факторы иммунитета. Характерная особенность препарата – стимулирующее влияние на кроветворение, в частности метилурацил усиливает образование лейкоцитов и эритроцитов в костном мозге. Важным свойством данного соединения является стимуляция эритро- и особенно лейкопоза при угнетении кроветворения. Данный процесс в основном реализуется за счет гранулоцитов. Метилурацил хорошо зарекомендовал себя в качестве стимулятора лейкопоза (Беляцкая А.В. и др., 2016).

Метилурацил относится к веществам, обладающим малой растворимостью в воде, что в некоторой степени снижает биофармацевтические характеристики лекарственных препаратов на его основе. Использование метилурацила в современной фармакотерапии остается актуальным и в настоящее время (Беляцкая А.В. и др., 2016).

1.3. *Danio rerio* как тест-объект для изучения физиологических процессов

На сегодняшний день достоверно известно, что тропические рыбки *Danio rerio* (*Zebrafish*) являются изученным и практическим модельным объектом доклинических исследований.

Рыбка *Danio rerio* относится к так называемым модельным организмам биологии развития. Благодаря простоте содержания, размножения, высокой скорости развития эмбриона она стала своего рода лабораторной белой мышью для ихтиологии. Это один из немногих живых организмов посетивших космическую орбиту (Влияние метаболитов на процесс регенерации у рыб вида *Danio rerio*, 2013).

Danio rerio (*Zebrafish*) — маленькая пресноводная тропическая рыбка, населяющая преимущественно реки и ручьи Пакистана, Индии, Бангладеша, Непала, Мьянмы и Бутана. *Zebrafish*, хорошо известна любителям аквариумных рыб, широко применяется в лабораторных исследованиях. *Danio rerio* имеет продолговатую форму тела, основной тон окраски — серебристый с ярко синими и желто-зелеными полосами. Взрослые особи, обитающие на воле, достигают длины 6-7 см, аквариумные обитатели — 5 см. *Zebrafish* ведут стайный образ

жизни (не менее 7-10 рыбок), большую часть времени держатся в верхних и средних слоях воды. В неволе живут около трех лет (Багатурия Г.О. и др.,2018). Плавники короткие, практически прозрачные, могут иметь желтую кайму. Самцы отличаются более стройным телом, у самок брюшко значительно толще. На каждой губе имеется пара усов, которые обычно плотно прижаты, поэтому незаметны (Данио-рерио – миролюбивые непоседы.,2020).

В природе *Danio rerio* питаются личинками и взрослыми насекомыми, ракообразными и водорослями, а их естественными врагами являются хищные рыбы, птицы и личинки стрекоз (Ильин Н. П. и др.,2023). Корм поедают любой, но предпочитают живой. Лучше мелкие ракообразные, например, дафния, циклопы. Подойдет так же мелкий мотыль. Лакомством для них является так же скобленное мясо. Позволительно кормить сухими некрупными кормами, предварительно слегка растерев их пальцами. Корм *Danio rerio* проще брать с поверхности воды или ловить в ее толще (Влияние метаболитов на процесс регенерации у рыб вида *Danio rerio*.,2013).

Для содержания минимальной стайки *Danio rerio* (5-6 штук) вполне хватит аквариума на 30 литров. Но чем больше объем, тем комфортнее ощущают себя *Danio rerio*. Рыбки очень подвижны, предпочитают плавать в верхней части аквариума. *Danio rerio* любят чистую воду, поэтому необходимо позаботиться о должной фильтрации, а также организовать достаточную аэрацию. Желательно обеспечить хорошее освещение, с подходящими лампами рыбки будут смотреться ярче и привлекательнее.

Оптимальные параметры воды для содержания: $T = 17-25^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 6.7-7.0$ (Данио-рерио – миролюбивые непоседы.,2020). *Danio rerio* удовлетворяет всем требованиям, выдвигаемым к модельным организмам: малые размеры, неприхотливость в уходе, сокращенный во времени жизненный цикл и высокая степень фертильности. Благодаря этим особенностям у *Danio rerio* есть все шансы заменить собой лидеров среди модельных организмов: лабораторная мышь (*Mus musculus*) и серая крыса (*Rattus norvegicus*). Хотя эволюционно грызуны гораздо ближе к человеку, чем остальные животные, за исключением приматов, использование грызунов в лабораторных экспериментах все более лимитирует-

ся международными и национальными комитетами по биоэтике (Рашимова А.Д. и др., 2023).

С помощью этих рыб исследуют развитие позвоночных, их иммунитет, физиологию, а также воздействие на эмбрионы и взрослых животных токсинов и лекарственных средств (Боровиков А., Мошковский С., 2020).

1.4. Особенности процессов регенерации у *Danio rerio*

Danio rerio обладают замечательной способностью полностью регенерировать утраченный придаток, точно восстанавливая его размер, форму и рисунок тканей. Структура вновь формирующейся ткани строго регулируется, чтобы обеспечить надлежащее восстановление анатомии. Остеобласты играют важную роль в качестве клеточного источника регенерирующих элементов скелета, и у рыбок *Danio rerio* происходит как дедифференцировка остеобластов, так и образование остеобластов de novo.

Все эти типы плавников регенерируют, и хотя есть исследования с использованием грудных плавников в качестве модели, хвостовой плавник в основном используется для исследований регенерации.

Хвостовой плавник *Danio rerio* состоит из нескольких эндохондральных костных элементов у его основания, которые имеют мускулистую форму, в то время как видимая часть плавника, которая отходит от тела, образована лучами плавников, и не содержит мышц. Плавниковые лучи (лепидотрихии) являются экзоскелетными элементами дермального происхождения, то есть они образуются непосредственно из остеобластов без хрящевой матрицы. Каждый луч состоит из последовательности повторяющихся костных единиц, сегментов, которые соединены друг с другом коллагеновыми связками, суставов.

После частичной ампутации плавников происходит четкая последовательность событий, чтобы обеспечить успешную регенерацию утраченной ткани.

Регенерация у рыб происходит с помощью эпиморфоза — отрастание недостающей части органа без относительного изменения размера и формы его оставшейся части. Данный вид регенерации примечателен тем, что общий профиль утраченной части тела восстанавливается за счет активности образую-

щихся недифференцированных (стволовых) клеток (Кислова А., Модестов А., 2021).

Процесс восстановления хвостового плавника включает несколько стадий (Рашимова А.Д. и др., 2023):

1. Фаза заживления раны. После ампутации происходит сокращение раны и экструзия клеток, что предотвращает инфицирование и подготавливает зону для регенерации.

2. Формирование бластемы: на месте ампутации образуется масса недифференцированных клеток (бластема), которые активируют пролиферацию и миграцию. Эти клетки способны дифференцироваться в кости, кожу и сосуды.

3. Рост плавника: регенерация происходит от проксимальной к дистальной части, при этом новые ткани формируются без рубцевания. За 2–3 дня у личинок плавник восстанавливается на 60% от исходной длины

Исследования *Danio rerio* помогают разрабатывать методы восстановления сердца, сетчатки и нервной ткани у человека.

Глава 2. Материалы и методы исследования

В качестве материала в работе использовался лекарственный препарат метилурацил торговой марки RENEWAL.

Препарат добавляли в воду, в которой культивировали рыбок. Используемые концентрации метилурацила представлены.

Концентрация метилурацила выбиралась согласно инструкции к препарату, и составила в воде аквариума 100 мг/л (опыт 100) и 200 мг/л (опыт 200). Каждый опыт сопровождался интактным контролем, где рыбы содержались в аквариуме без добавления метилурацила.

Все эксперименты были проведены на биологической лаборатории ГОУ ЯО Средняя школа «Провинциальный колледж». Для эксперимента были отобраны самцы и самки *Danio rerio*, не имеющие морфофизиологических отклонений от нормы, признаков заболеваний, травм, паразитарных инвазий и патологий поведения. Все особи проходили адаптацию в аквариумах лаборатории в течение двух недель. Ежедневно рыбы получали флейк-корм.

Перед началом эксперимента особи в случайном порядке были разделены на контрольную и опытную субпопуляции, измерены и помещены в аквариумы объемом 10 литров ($t=28\text{ }^{\circ}\text{C}$). В контрольной и опытной группах было по 4 (контроль и опыт 100) и по 5 (контроль и опыт 200) особей. Контрольная группа содержалась в обычной воде, а экспериментальная - в аквариуме с водой, в которую был добавлен метилурацил в концентрациях 100 и 200 мг/л.

Для минимизирования болевого шока все рыбы предварительно охлаждались. Элиминация хвостового плавника производилась стерильным острым скальпелем до 3-5 сегментов лучей во избежание кровотечения и гибели рыб. С помощью линейки (точность измерения до 0,1 мм) измерялась длина хвостового плавника от окончания хвостового стебля до окончания хвостового луча. Ежедневно проводился учет прироста хвостового плавника с использованием бинокуляра «Микромед» МС-1.

Статистическая обработка данных производилась в программе Microsoft Excel с использованием t-критерия Стьюдента для малых выборок.

Глава 3. Результаты исследования

3.1. Скорость регенерации хвостового плавника у *Danio rerio* в стандартных для данного вида условиях при содержании в аквариуме

Результаты изучения прироста хвостового плавника у *Danio rerio* в стандартных для данного вида условиях при содержании в аквариуме представлены в таблице 1, на рис. 1. Данные получены по результатам двух экспериментов (контроль 100 и контроль 200).

Таблица 1
Скорость прироста хвостового плавника у *Danio rerio* при воздействии различных концентраций метилурацила

Дни	1 д	2 д	3 д	4 д	5 д
контроль 100 мг/л	0,07±0,01	0,38±0,19	0,57±0,18	0,81±0,17	1,06±0,17
контроль 200 мг/л	0,15±0,05	0,50±0,10	0,74±0,06	1,11±0,12	1,31±0,14
Т-критерий Стьюдента	2,2034	0,539803	0,773247	1,498295	1,249741

*Критическое значение Т-критерия Стьюдента 2,3060

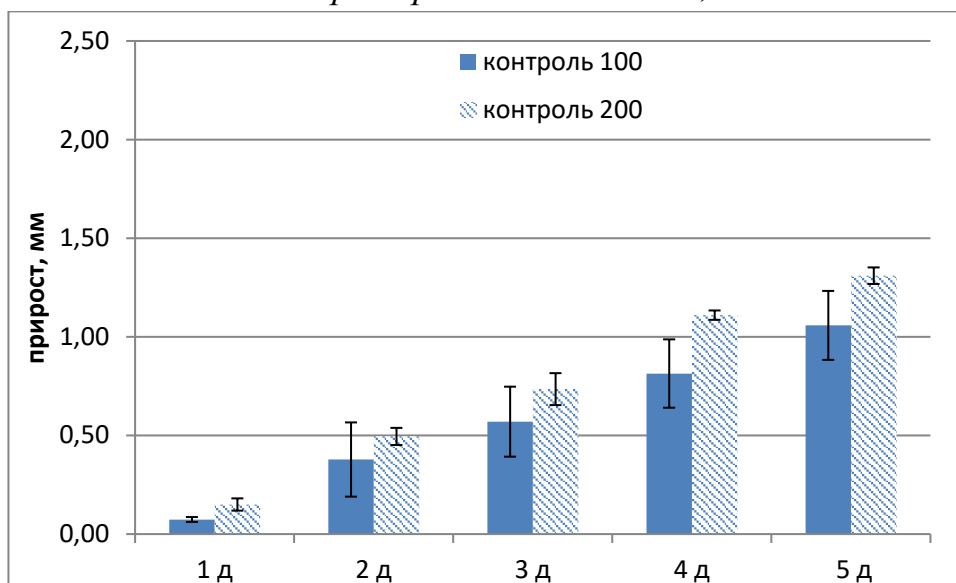


Рис.1. Скорость прироста хвостового плавника у *Danio rerio* в контроле.

При содержании в стандартных условиях наименьшая скорость роста плавника была отмечена на второй день исследования – 0,30 и 0,35 мм для контроля 100 и контроля 200 соответственно. Далее скорость регенерации повысилась и составляла в среднем 0,81 и 1,05 мм в день для контроля 100 и контроля 200 соответственно.

Сравнение прироста плавника в контроле 100 и контроле 200 (без добавления метилурацила, содержание в стандартных условиях) показало отсутствие

достоверных различий за весь период исследования. Можно заключить, что без воздействия метилурацила регенерация плавника у *Danio rerio* происходила с одинаковой скоростью в обоих экспериментах. В связи с этим данные, полученные при воздействии различных концентраций метилурацила сравнимы между собой.

3.2 Оценка средней скорости прироста хвостового плавника у *Danio rerio* при воздействии метилурацила в концентрации 100 мг/л

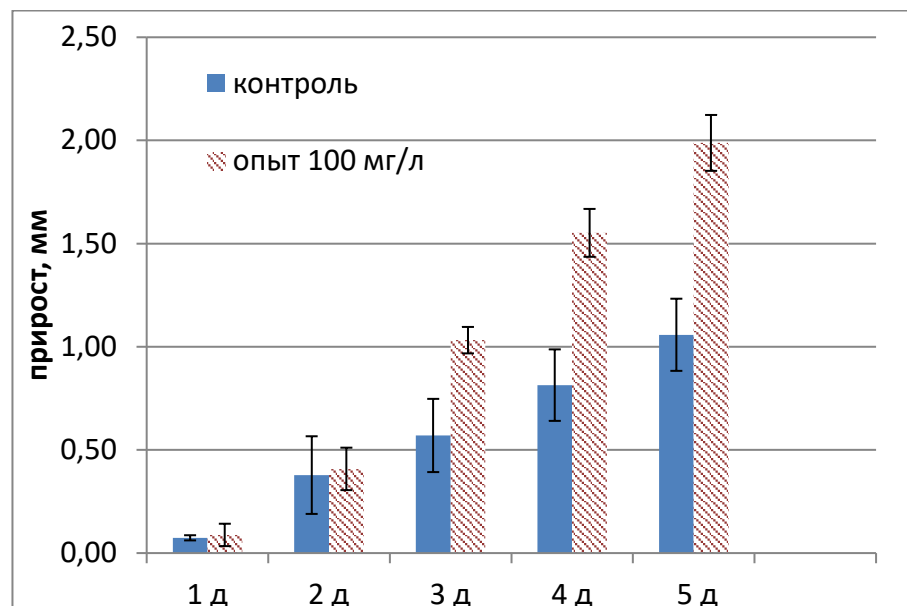
Результаты изучения прироста хвостового плавника у *Danio rerio* в контрольном и опытном эксперименте с метилурацилом в концентрации 100 мг/л представлены в таблице 1, на рис. 1.

Таблица 1

Прирост хвостового плавника (мм) у *Danio rerio* в стандартных условиях при содержании в аквариуме и при воздействии метилурацила в концентрации 100 мг/л

Вариант опыта	Особь	Исходная длина мм		Прирост, мм				
		до ампутации	после ампутации	1 день	2 день	3 день	4 день	5 день
Контроль	1	5,54	1,72	0,06	0,18	0,32	0,56	0,76
	2	6,52	1,37	0,05	1,13	1,27	1,49	1,73
	3	6,48	2,18	0,08	0,22	0,38	0,72	0,86
	4	6,30	1,74	0,12	0,18	0,38	0,56	0,88
	5	5,60	1,94	0,06	0,18	0,50	0,74	1,06
	Средняя длина	6,09±0,22	1,79±0,10	0,07±0,01	0,38±0,15	0,57±0,13	0,81±0,13	1,06±0,13
Опыт	1	8,40	2,26	0,08	0,40	1,14	1,68	2,22
	2	6,56	1,86	0,02	0,30	0,84	1,24	1,52
	3	6,32	1,40	0,30	0,78	1,16	1,92	2,28
	4	6,84	1,16	0,02	0,16	1,10	1,42	2,02
	5	6,76	1,78	0,02	0,40	0,92	1,50	1,90
	Средняя длина	6,98±0,37	1,69±0,16	0,09±0,04	0,41±0,07	1,03±0,05	1,55±0,09	1,99±0,10
	Т-критерий Стьюдента		0,42	0,25	0,14	2,45	3,54	4,21

*Критическое значение Т-критерия Стьюдента 2,3060



*Рис.1. Средний ежедневный прирост хвостового плавника у *Danio rerio* в стандартных условиях при содержании в аквариуме (мм) и при воздействии метилурацила в концентрации 100 мг/л в сравнении с предыдущим днем.*

Результаты измерения прироста хвостового плавника в контрольной и опытной группах были получены в течение 5 дней. В первые два дня эксперимента прирост хвостового плавника в контрольном и опытном варианте достоверно не различался. Начиная с 3 дня отмечены достоверные различия между приростом плавника в контроле и опыте, причем при воздействии метилурацила в концентрации 100 мг/л прирост хвостового плавника у *Danio rerio* был выше, чем в контроле приблизительно в 1,8 раза контроле.

На 5 день исследования длина плавника у рыбы составила 1,73 мм в контроле и 2,28 мм в опыте. Следовательно, метилурацил в концентрации 100 мг/л ускоряет регенерацию хвостового плавника. Можно предположить, что за счет метилурацила не ускоряется прохождение стадий заживления раны и формирование бластемы, но происходит ускорение стадии роста плавника, так как данное вещество оказывает стимулирующее влияние на клеточные и гуморальные факторы иммунитета, которые могут влиять на регенерацию тканей.

3.3. Оценка средней скорости прироста хвостового плавника у *Danio rerio* при воздействии метилурацила в концентрации 200 мг/л

Результаты изучения прироста хвостового плавника у *Danio rerio* в контрольном и опытном эксперименте с метилурацилом в концентрации 200 мг/л представлены в таблице 2, на рис. 2.

Таблица 2

*Прирост хвостового плавника у *Danio rerio* в стандартных условиях при содержании в аквариуме (мм) и при воздействии метилурацила в концентрации 200 мг/л*

Вариант опыта	Особь	Исходная длина, мм		Прирост, мм				
		до ампутации	после ампутации	1 день	2 день	3 день	4 день	5 день
контроль	1	6,08	1,22	0,20	0,54	0,62	1,18	1,42
	2	5,88	1,18	0,06	0,48	0,58	1,10	1,22
	3	6,62	1,38	0,18	0,58	0,92	1,08	1,28
	4	6,04	1,18	0,16	0,38	0,82	1,08	1,32
	средняя длина	6,16±0,32	1,24±0,10	0,15±0,06	0,5±0,09	0,74±0,16	1,11±0,05	1,31±0,08
опыт	1	6,70	1,68	0,04	0,62	1,04	1,66	1,80
	2	6,94	1,92	0,14	0,72	1,34	1,80	2,20
	3	7,64	2,20	0,04	0,30	0,66	1,16	1,76
	4	6,28	2,20	0,56	0,62	1,00	1,42	1,60
	средняя длина	6,89±0,63	2,00±0,25	0,20±0,24	0,57±0,17	1,01±0,28	1,51±0,28	1,84±0,26
	Т-критерий Стьюдента			0,35	0,69	1,71	2,81	3,95

*Критическое значение Т-критерия Стьюдента 2,3060

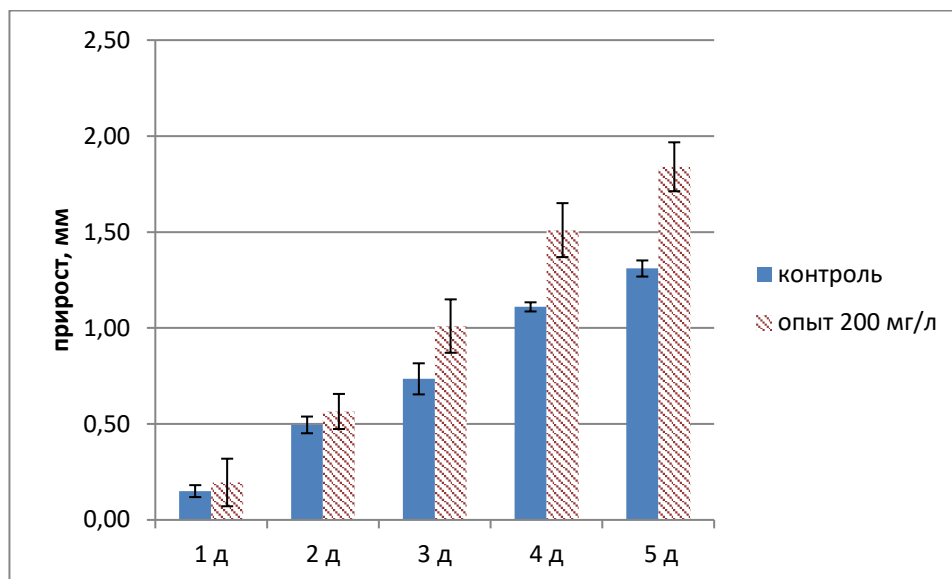


Рис.2. Средний прирост хвостового плавника у *Danio rerio* в стандартных условиях при содержании в аквариуме (мм) и при воздействии метилурацила в концентрации 200 мг/л в сравнении с предыдущим днем.

В ходе проведенного эксперимента было исследовано влияние метилурацила после ампутации хвостового плавника у *Danio rerio* в стандартных условиях при содержании в аквариуме (мм) и при воздействии метилурацила в концентрации 200 мг/л. Результаты измерения прироста в контрольной и опытной группах были получены в течение 5 дней.

В первые два дня эксперимента прирост хвостового плавника в контрольном и опытном варианте достоверно не различался. Достоверные различия с контролем появились только с 3 дня. Достоверные различия между контролем и опытом наблюдались с 3 по 5 день, когда прирост в опытной группе был примерно в 2 раза выше. Следовательно, влияние метилурацила в концентрации 200 мг/л на регенерацию хвостового плавника сходно с таковым при концентрации 100 мг/л. На 5 день исследования в данном эксперименте длина плавника у рыбы составила 1,42 мм в контроле и 2,2 мм в опыте.

3.4. Оценка средней скорости прироста хвостового плавника у *Danio rerio* при воздействии различных концентраций метилурацила

Сравнение прироста плавника в опыте 100 и опыте 200 (без добавления метилурацила, содержание в стандартных условиях) показало отсутствие достоверных различий за весь период исследования. Можно заключить, что без

воздействия метилурацила регенерация плавника у *Danio rerio* происходила с одинаковой скоростью в обоих экспериментах. В связи с этим данные, полученные при воздействии различных концентраций метилурацила сравнимы между собой (п. 3.1, таблица 1, рис. 1).

Результаты сравнения прироста хвостового плавника у *Danio rerio* при воздействии различных концентраций метилурацила представлены в таблице 3, на рис. 3.

Таблица 3

*Скорость прироста хвостового плавника у *Danio rerio* при воздействии различных концентраций метилурацила*

Дни	1 д	2 д	3 д	4 д	5 д
опыт 100 мг/л	0,09±0,05	0,41±0,10	1,03±0,06	1,55±0,12	1,99±0,14
опыт 200 мг/л	0,20±0,12	0,57±0,09	1,01±0,14	1,51±0,14	1,84±0,13
Т-критерий Стьюдента	0,855781	1,108611	0,154728	0,232761	0,778584

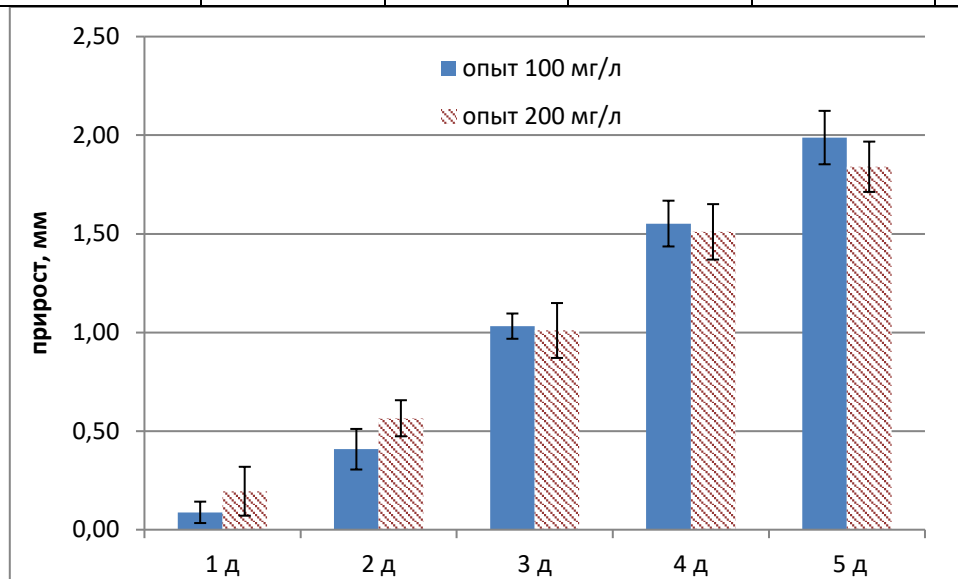


Рис.4. Скорость прироста хвостового плавника у *Danio rerio* в опыте при воздействии концентрации метилурацила 100 мг/л и 200 мг/л.

Сравнение данных по приросту плавника при воздействии метилурацила в концентрациях 100 мг/л и 200 мг/л показало отсутствие достоверных различий. Следовательно, скорость регенерации плавника не изменялась в зависимости от концентрации метилурацила.

Заключение

Выводы

1. Прирост плавника в контроле 100 и контроле 200 достоверно не различался за весь период исследования, наименьшая скорость роста плавника - 0,30 мм (контроль 100) и 0,35 мм (контроль 200), была отмечена на второй день исследования, со 2 по 5 день скорость регенерации повысилась и составляла в среднем 0,81мм (контроль 100) и 1,05 мм (контроль 200).
2. При воздействии метилурацила в концентрации 100 мг/л на 1 и 2 дни эксперимента прирост хвостового плавника у *Danio rerio* достоверно не различался с контролем, начиная с 3 дня отмечено достоверное увеличение прироста в опыте в среднем до 1,52 мм в день.
3. При воздействии метилурацила в концентрации 200 мг/л с 1 по 3 дни эксперимента прирост хвостового плавника у *Danio rerio* достоверно не различался с контролем, в 4 и 5 дни отмечено достоверное увеличение прироста в опыте в среднем до 1,68 мм в день.
4. Сравнение данных по приросту плавника при воздействии метилурацила в концентрациях 100 мг/л и 200 мг/л показало отсутствие достоверных различий.
5. Скорость регенерации плавника в 1-2 дни не изменялась в контроле и при воздействии метилурацила, следовательно, стадии заживления раны и формирования бластемы стабильны по времени, метиурацил ускоряет регенерацию, начиная с 3-4 дня, происходит ускорение стадии роста плавника.

Список использованных источников и литературы

1. Багатурия Г.О., Блаженко А.А., Качанов Д.А., Лакеев Н.М., Лапкина Г.Я., Левикин К.Е., Прошин С.Н. *Danio rerio* (Zebrafish) как универсальный модельный объект в доклинических исследованиях. – Т.1. СПб., №1., 2018. 54 с.
2. Беляцкая А.В., Галайко А.Н., Грих В.В. и др. Перспективы применения твердых дисперсий метилурацила в медицине и фармации: [Электронный ресурс] // Фармация. Научно-практический журнал. URL: <https://pharmaciyajournal.ru/sites/default/files/fulltext-pdf/25419218-2016-05-02.pdf?ysclid=m6xtycav8364228034> (Дата обращения: 09.02.2025).
3. Боровиков А., Мошковский С. Модельные организмы: данио рерио: [Электронный ресурс] // Биомолекула. URL: <https://biomolecula.ru/articles/modelnye-organizmy-danio-rerio>. (Дата обращения: 09.02.2025).
4. Влияние метаболитов на процесс регенерации у рыб вида *Danio rerio*: [Электронный ресурс] // Государственное бюджетное образовательное учреждение города Москвы «Школа № 1535». URL: http://liceum1535.ru/about/conference/6th_conference/II_degee_diploma/2_Северюгина_Салупаева_Чернышева_Лицей%20№2_Брянск.pdf (Дата обращения: 09.02.2025).
5. Гилберд В., Серинг И.М. Последние достижения в понимании регенерации плавников у рыбок данио: [Электронный ресурс] // PubMed. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31726486/> (Дата обращения: 09.02.2025).
6. Григорян Э.Н. Регенерация (в биологии): [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/c/regeneratsiia-v-biologii-7ad509?ysclid=m6xrc5kowt475979659> (Дата обращения: 09.02.2025).
7. Данио-рерио – миролюбивые непоседы: [Электронный ресурс] // Tetra. URL: https://blog.tetra.net/ru/ru/danio-rerio-mirolyubivye-neposedy#%D0%92%D0%BD%D0%B5%D1%88%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B2%D0%B8%D0%B4 (Дата обращения: 09.02.2025).
8. Ильин Н.П., Калусев А.В., Колесникова Е.О., Котова М.М. Зебраданио как перспективная модель в трансляционной нейробиологии и биомедицине // Успехи физиологических наук. - Т.54. №3. СПб., 2023.18 с.
9. Кислова А., Модестов А. Регенерация на кончиках пальцев: [Электронный ресурс] // Биомолекула. URL: <https://biomolecula.ru/articles/regeneratsiia-na-konchikakh-paltsev?ysclid=m6xri0ko8835464704> (Дата обращения: 09.02.2025).

10. Клименко П.А., Макулова М.С. Влияние пищевых добавок на основе лектинов на процесс регенерации *Danio rerio*: [Электронный ресурс] // Старт в науке. URL: <https://school-science.ru/11/1/46524> (Дата обращения: 14.02.2025).
11. Рашимова А.Д., Дегтева Н.М., Мустафаева Г.М., Сириус В.В. Данио рерио (*Danio rerio*) как модельный объект в исследовании механизмов регенерации: [Электронный ресурс] // Студенческий научный форум – 2023. URL: <https://scienceforum.ru/2023/article/2018032341?ysclid=m73o0r8xg4115653019> (Дата обращения: 13.02.2025).
12. Смердова М.Д., Климова Е.А. Восстановительно-приспособительные процессы в организме: [Электронный ресурс] // Красноярский государственный аграрный университет. URL: http://www.kgau.ru/distance/vet_03/patanatomia/01_06.html#RP1 (Дата обращения: 09.02.2025).
13. Фаустов В.В. Регенерация и вегетативное размножение садовых растений: [Электронный ресурс] // Электронно-библиотечная система РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/12-1987-6.pdf/download/12-1987-6.pdf> (10.04.2025).
14. Физиологическая регенерация: сущность, биологическое значение, уровни. Влияние факторов среды на регенерацию: [Электронный ресурс] // Студопедия. URL: https://studopedia.ru/13_89911_fiziologicheskaya-regeneratsiya-sushchnost-biologicheskoe-znachenie-urovni-vliyanie-faktorov-sredi-na-regeneratsiyu.html?ysclid=m70wfbou4o186910236 (Дата обращения: 13.02.2025).
15. Шувалова М. Рекордсмен регенерации среди млекопитающих: [Электронный ресурс] // Элементы. URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/436845/Rekordsmen_regeneratsii_sredi_mlekovitayushchikh (Дата обращения: 09.02.2025).
16. Ярыгин Н.В. Биология: [Электронный ресурс] // Robotlibrary. URL: <http://robotlibrary.com/book/486-biologiya-yarygin-vn/144-Page144.html> (Дата обращения: 09.02.2025).