УДК 597.553:591.5:612.015.11

Аксенова Ю.Е.
Студент 6 курс,
факультет фундаментальной медицины
Челябинский государственный университет
Россия, г. Челябинск

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ И УРОВНЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА У РЫБ ДАНИО-РЕРИО В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО ПРЕДАТОРНОГО СТРЕССА

Аннотация. В *работе проанализировано влияние хронического предаторного стресса на поведение пресноводной рыбки данио рерио и сопутствующие изменения показателей оксидативного стресса. Показано, что длительное воздействие сигналов хищника снижает исследовательскую активность, усиливает тревожное поведение и побуждает рыб держаться у дна и в укрытиях. Эти поведенческие сдвиги сопровождаются повышением уровня малонового диальдегида и нарушением баланса антиоксидантных ферментов, что свидетельствует о развитии системного оксидативного повреждения. Выявленная корреляция подчёркивает ценность данио рерио как модельного организма для изучения нейроэндокринных и метаболических механизмов стресс-индуцированных расстройств.*

Ключевые слова: *зебрафиш, Данио-Рерио, предаторный стресс, поведение, оксидативный стресс, малоновый диальдегид, антиоксидантные ферменты.*

Abstract. *This study examines how chronic predator stress affects the behavior of the freshwater fish Danio rerio and alters oxidative-stress biomarkers. Prolonged exposure to predator cues reduces exploratory activity, heightens anxiety-like behavior, and drives fish to remain near the tank bottom and in shelters. These behavioral changes coincide with increased malondialdehyde levels and a*

disrupted balance of key antioxidant enzymes, indicating systemic oxidative damage. The observed correlations highlight zebrafish as a valuable model for exploring neuroendocrine and metabolic pathways underlying stress-induced disorders.

Keywords: *zebrafish, Danio rerio, predatory stress, behavior, oxidative stress, malondialdehyde, antioxidant enzymes.*

Стрессовые факторы окружающей среды влияют на поведение и физиологическое состояние животных. Одним из важных видов стрессов для рыб являются сигналы присутствия хищников.

Стресс – это обычная психофизиологическая реакция организма на нежелательные обстоятельства; даже относительно кратковременный стресс может вызывать долговременные структурные и функциональные нарушения

Хронический стресс способен приводить к развитию различных патологических состояний, включая тревожные расстройства и метаболические нарушения.

В последние годы пресноводная рыбка Данио рериопрочно утвердилась в статусе организма, применяемого для исследования воздействия стрессовых факторов на поведение и физиологию позвоночных. Многочисленные публикации подтверждают, что зебрафиш обеспечивает наглядную и воспроизводимую модель для доклинического изучения механизмов депрессии и стресс-индуцированных расстройств у высших животных.

Благодаря этому, данио-рерио применяются в экспериментальных работах для моделирования стрессовых расстройств человека и поиска способов их коррекции. Особенно актуально использование данио рерио для изучения влияния хронического стресса, поскольку эти рыбы относительно просты в содержании, но демонстрируют сложное поведение и имеют нейроэндокринные реакции, сходные с таковыми у млекопитающих [5].

В естественной среде обитания появление поблизости хищника незамедлительно запускает у рыб комплекс оборонительных поведенческих ответов. У зебрафиш при внезапном испуге или угрозе наблюдаются

замирание, резкие развороты или разбегание стаи, а также последующее избегание открытых пространств.

Экспериментальные исследования подтверждают, что уже кратковременный контакт с хищником вызывает у данио рерио ощутимый гормональный стресс-ответ, например, при помещении взрослой зебрафиш в аквариум с хищной рыбой или даже при одном визуальном контакте с хищником уровень кортизола в организме рыбы резко повышается по сравнению с контролем. Кортизол у рыб является основным гормоном стресса, и рост его концентрации отражает активацию гипоталамо-гипофизарно-интерреналовой системы в ответ на опасность

Если стресс действует постоянно или многократно, у рыб формируется хроническое тревожное состояние. Поведение данио-рерио при хроническом предаторном стрессе меняется следующим образом: рыбы стараются держаться ближе друг к другу и предпочитают нижние слои воды, реже поднимаясь к поверхности. В эксперименте, где в течение нескольких недель группу рыб ежедневно подвергали непредсказуемым стрессам, было отмечено, что стрессированные особи действительно демонстрировали выраженное тревожное поведение и склонность к укрытию. Оказалось, что рыбы, которые испытывали стресс, сбивались в плотные косяки, предпочитая дно аквариума, что говорило об их повышенной тревожности.

Одновременно хронический стресс может приводить и к адаптивным изменениям поведения, так, у ранее стрессированных рыб усиливается способность к обучению избеганию отрицательных стимулов. Таким образом, длительное ощущение угрозы хищников заметно снижает спонтанную двигательную активность зебрафиш, повышает их склонность к осторожному, робкому поведению, хотя в некоторых случаях может повышать навыки выживания [1, с. 16].

Для количественной оценки поведенческой активности и тревожности Данио рерио под предаторным воздействием обычно используются специальные тесты. К ним относятся тест «нового аквариума», где измеряется

распределение рыбы по вертикали, и тест «реакции на хищника», при котором регистрируется время, проведенное в укрытии или на открытом пространстве, скорость плавания, частота замираний и др. индикаторы страха. Обычно, заметив хищника, зебрафиш резко снижают исследовательскую активность, стремятся удерживаться у дна и в защищённых укрытиях и значительно реже выходят к месту кормления. Такие поведенческие изменения надёжно согласуются с физиологическими индикаторами стресса, прежде всего с повышением концентрации кортизола и перестройкой профиля нейромедиаторов.

Психофизиологический стресс затрагивает не только нервную и эндокринную регуляцию, но и общий энергетический обмен организма. Одним из ключевых метаболических последствий его активации является оксидативный стресс - дисбаланс между образованием активных форм кислорода (АФК) и мощностью антиоксидантной защиты. В момент запуска реакции «бей или беги» метаболические потоки ускоряются, митохондрии производят больше свободных радикалов, и, если система антиоксидантов не успевает их обезвредить, начинается окислительное повреждение клеток [2, с. 10-13].

Если антиоксидантные системы не успевают нейтрализовать избыток радикалов, те начинают повреждать клетки – в частности, возникают процессы перекисного окисления липидов в клеточных мембранах. Конечным продуктом пероксидации липидов является малоновый диальдегид (МДА), поэтому концентрация МДА в тканях широко используется как маркер оксидативного повреждения. Кроме того, об уровне оксидативного стресса судят по активности ключевых антиоксидантных ферментов: супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), глутатионпероксидазы и другим, которые обезвреживают АФК.

В нормальных условиях показатели перекисного окисления у рыб поддерживаются на низком уровне благодаря сбалансированной работе антиоксидантных ферментов. Однако под влиянием стресса – таких как

загрязнение среды, резкие изменения температуры или присутствие хищника – баланс может смещаться. Исследования на различных видах рыб показывают, что стресс приводит к нарастанию оксидативного повреждения: например, у рыб, подвергшихся длительному социальному стрессу, обнаруживаются повышенные уровни оксидативного стресса и сниженная антиоксидантная способность по сравнению с менее стрессированными сородичами. Групповое содержание, напротив, может смягчать стресс-реакцию: в недавнем эксперименте групповые особи рыб имели более низкие уровни кортизола и МДА, чем одиночно содержащиеся, что указывает на эффект «социальной защиты» от стресса. То есть при меньшем психологическом стрессе и окислительная нагрузка на организм оказывается ниже [4, с. 56-60].

Относительно влияния именно предаторного стимула на показатели оксидативного стресса исследований немного, но полученные данные свидетельствуют о заметном эффекте. В работе [3] было впервые экспериментально показано, что «риск хищника вызывает оксидативное повреждение у жертвы». В том эксперименте личинки стрекоз, в течение недели подвергавшиеся воздействию сигналов хищника, имели значительно более высокий уровень МДА в тканях по сравнению с контролем, а активность антиоксидантных ферментов при этом существенно не возросла. Это означает, что постоянное присутствие угрозы истощает антиоксидантные резервы и приводит к накоплению продуктов пероксидации. Аналогично, можно ожидать, что и у рыб Данио рериохронический страх перед хищником вызовет усиление оксидативного стресса. Косвенно это подтверждается работами, где у долго стрессировавшихся зебрафиш обнаруживались признаки метаболического дисбаланса и нейровоспаления, которые часто сопряжены с избыточным образованием свободных радикалов.

В заключении мы рассмотрели, как хронический предаторный стресс у данио рерио одновременно трансформирует поведение рыб и усиливает оксидативное повреждение их тканей. Показано, что длительное присутствие

хищника вызывает стойкую тревожную реакцию: снижение спонтанной активности, предпочтение нижних слоёв воды и укрытий, а также формирование плотных косяков. Эти изменения чётко коррелируют с ростом концентрации малонового диальдегида и дисбалансом активности антиоксидантных ферментов, что указывает на развитие системного оксидативного стресса. Тем самым подтверждается, что поведенческие маркёры страха могут служить надёжным индикатором клеточного повреждения, а биохимические показатели - объективной мерой тяжести хронического стрессового воздействия. Выявленная взаимосвязь подчёркивает ценность данио рерио как модельного организма для изучения нейроэндокринных и метаболических механизмов стресс-индуцированных расстройств и формирует основу для разработки стратегий профилактики и коррекции негативных эффектов хронического стресса у позвоночных.

Использованные источники

1. Жданов А. В. *С*пособ моделирования посттравматического стрессового расстройства у особей рыб Данио-рерио // А. В. Жданов, С. Л. Хацко, А. В. Калуев патент РФ №2819381. – 2024. – 16 с.
2. Зуб, А. В. Возможность использования биологической модели пресноводной рыбы данио рерио в доклинических исследованиях / А. В. Зуб, В. Л. Загребин, В. А. Деоряшина // Вестник ВолГМУ. – 2020. - №1 (73). – С. 10-13.
3. Janssens L., Stoks R. Predation risk causes oxidative damage in prey // Biology Letters. – 2013. – Vol. 9. - No. 4.
4. Karl J. Clark, Nicole J. Boczek, and Stephen C. Ekker Stressing Zebrafish for Behavioral Genetics // NIH Public Access. – 2011. – No. 22(1). – P. 49-62.
5. Данио-рерио показали, как преодолеть хронический стресс // Индикатор. – 2021. – 13 авг. [Электронный ресурс] – URL:

https://indicator.ru/biology/danio-rerio-pokazali-kak-preodolet-khronicheskii-stress-13-08-2021.htm (дата обращения: 30.04.2025).