

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева»
(Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева)

Кафедра английской филологии

Письменный перевод

по книге The Siberian Sturgeon

название книги на иностранном языке

выходные данные Springer, 2018

(место издания, год)

перевод стр. с 373 по 379

для сдачи кандидатского экзамена
по иностранному языку
(английский)

Выполнил:

Суханова Алина Сатаровна

Кафедра зоотехнии и технологии переработки

Астрахань – 2023 г.

State of Health

*Immunology in Sturgeons with a Focus
on the Siberian Sturgeon Mechanisms,
Responses to Stress and Stimulation*

Abstract

This chapter aims to explore the state of knowledge about the immune mechanisms in sturgeon with a focus on the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*), stress factors that can disrupt the immune system and the sources of stimulation.

Studies conducted carried out for several decades on sturgeon suggest specificities of their immune system compared to other fish species: special organs (meningeal myeloid tissue, tissues surrounding the heart), particularity of cells and components of immunity (larger white blood cells, lack of myeloperoxidase in neutrophils that are classified as heterophils).

Other features have also been shown, i.e. the slow development of organs of immunity, the rapid response to acute stress, but also the great capacity for recovery from stress, all of which give a particular character to the sturgeon in the family of farmed fishes.

Stress factors that can influence the immune system of sturgeons have also been researched in the last decade, with strong certainties about the influence of temperature, oxygen levels, pathogens and the presence in water of chemical substance.

More and more programs on the research of solutions to boost the immune system have been implemented in recent years, with proven stimulatory actions on immunity factors (vaccines, probiotics, prebiotics, symbiotics, certain vitamins polysaccharides, plants and their components) and more mixed results (proteins, amino acids and certain vitamins).

However, it seems that one domain is much less explored: the correlation between the

Состояние здоровья

*Иммунология осетровых с акцентом
на механизмы сибирского осетра,
Реакции на стресс и стимуляцию*

Аннотация

Цель этой главы заключается в изучении имеющихся знаний об иммунных механизмах осетровых рыб с детальным описанием сибирского осетра (*Acipenser baerii*), стрессовых факторов, нарушающих работу иммунной системы, и источников стимуляции.

Исследования, проведенные на материале осетровых в течение нескольких десятилетий, свидетельствуют о наличии особенностей их иммунной системы по сравнению с другими видами рыб: особые органы (миелоидная ткань мозга, ткани, окружающие сердце), особенности клеток и компонентов иммунитета (более крупные лейкоциты, отсутствие миелопероксидазы в нейтрофилах, классифицируемых как гетерофилы).

Также были продемонстрированы другие особенности, такие как медленное развитие органов иммунитета, быстрая реакция на острый стресс, а также большая способность к восстановлению после стресса, все это придает особый характер осетровым в семействе выращиваемых рыб.

Стрессовые факторы, способные оказывать влияние на иммунную систему осетровых, также были исследованы в последнее десятилетие, с детальным описанием влияния температуры, уровня кислорода, патогенов и наличия в воде химических веществ.

В последние годы внедряется все больше программ по исследованию вопросов укрепления иммунной системы с доказанным стимулирующим действием на факторы иммунитета (вакцины, пробиотики, пребиотики, симбиотики, определенные витамины, полисахариды, растения и их компоненты) и более неоднозначными результатами (белки, аминокислоты и некоторые витамины).

Однако, по-видимому, одна область остается гораздо менее изученной:

pathogen, the host immunity and its environment.

Nevertheless, this correlation is essential in the choice of solutions, which can be proposed, in particular in the field of immunostimulation.

Introduction

Naturally, living beings carry a flora composed of multiple microorganisms (bacteria, viruses, parasites and fungi), which change according to different environmental or genetic factors, which are closely related to each lifestyle.

There are also a lot of pathogens in the environment, namely, aquatic environments.

These microorganisms do not necessarily induce a pathological state.

However, when a disruption of the balance between host, environment and pathogen, induced by variations on one or more of these elements, occurs, it may lead to a pathological state (De Kinkelin et al. 1985).

If the agent takes advantage of the host or if the host immune system is compromised, it may increase its susceptibility to the pathogen.

According to various studies, stress in fish is known to cause immunosuppression and result in a rising susceptibility to disease.

Stress is a set of behavioural and physiological reactions in response to a threat of external origin.

The perception of the situation by the individual plays an essential role in the stress response.

Stress appears only if the animal perceives danger or discomfort.

Stress can have multiple origins: (1) husbandry practices (transportation, sorting, food, etc.), (2) environmental factors (water

корреляция между патогеном, иммунитетом хозяина и окружающей средой.

Тем не менее, данная корреляция имеет существенное значение при выборе решений, которые могут быть предложены, в частности, в области иммуностимуляции.

Введение

Естественно, живые существа имеют флору, состоящую из множества микроорганизмов (бактерий, вирусов, паразитов и грибов), изменяющихся в соответствии с различными экологическими или генетическими факторами, тесно связанными с образом жизни отдельно взятого вида.

В окружающей среде также имеется много патогенных микроорганизмов, а в водной среде они особенно многочисленны.

Данные микроорганизмы не обязательно вызывают патологическое состояние.

Однако, когда происходит нарушение баланса между хозяином, окружающей средой и патогеном, вызванное изменениями одного или нескольких вышеобозначенных элементов, это может привести к патологическому состоянию (De Kinkelin et al. 1985).

При использовании хозяина агентом в своих интересах или при наличии скомпромитированности иммунной системы хозяина, может повыситься его восприимчивость к патогену.

Согласно различным исследованиям, известно, что стресс у рыб вызывает подавление иммунитета и приводит к повышению восприимчивости к болезням.

Стресс представляет собой совокупность поведенческих и физиологических реакций в ответ на угрозу внешнего происхождения.

Восприятие ситуации индивидом играет существенную роль в возникновении реакции на стресс.

Стресс появляется только в том случае, если животное ощущает опасность или дискомфорт.

Стресс может иметь несколько причин: (1) методы ведения сельского хозяйства (транспортировка, сортировка, питание и

quantity and quality, temperature, brightness, oxygenation, etc.) and (3) pathogens.

It is common knowledge that fish stressed by one of these factors are more susceptible to infection (Kum and Sekkin 2011).

The effects of stress on the immune response vary depending on the type of stress factors, fish species and physiological status, i.e. physiological well-being, rate of growth, ability to maintain natural and acquired resistance and immunity (Eslamloo and Falahatkar 2014).

Thus, the health of the fish depends on the interrelationship of some major components of the fish, i.e. the environment in which they live and the pathogenicity and virulence of pathogens.

The immune system functions protect the body from damage caused by the invasion of microorganisms (bacteria, viruses, fungi and parasites).

Leukocytes and a number of accessory cells perform this defensive function.

These cells circulate throughout the body by using the blood and lymphatic circulation, but are preferably grouped in the lymphoid organs.

According to some studies, however, the lymphatic system is either absent or rudimentary in fish.

Nonetheless, for some authors, lymphatic vessels make their way through many organs and could be differentiated (under the skin near the spine, the head and tail, the gill organs, the oral cavity, the intestine, etc.)

These vessels have a structure similar to veins of the same calibre, but thinner wall that can be limited to a simple endothelium.

There are valves which allow to reinject the lymph into the venous system.

It is possible that the transporting vessels of lymph were confused with those of the

т.д.), (2) факторы окружающей среды (количество и качество воды, температура, яркость, насыщенность кислородом и т.д.) и (3) патогены.

Общеизвестно, что рыбы, подвергшиеся воздействию одного из этих факторов, более восприимчивы к инфекции (Кум и Секкин 2011).

Влияние стресса на иммунный ответ варьируется в зависимости от типа стрессовых факторов, вида рыбы и физиологического статуса, т.е. физиологического благополучия, скорости роста, способности поддерживать естественную и приобретенную резистентность и иммунитет (Eslamloo and Falahatkar 2014).

Таким образом, здоровье рыбы зависит от взаимосвязи некоторых основных компонентов процесса жизнедеятельности рыбы, т.е. окружающей среды обитания, патогенности и вирулентности патогенов.

Функции иммунной системы защищают организм от повреждений, вызванных вторжением микроорганизмов (бактерий, вирусов, грибов и паразитов).

Лейкоциты и ряд вспомогательных клеток выполняют данную защитную функцию.

Данные клетки циркулируют по всему телу, используя кровообращение и лимфатическую систему, но предпочтительно группируются в лимфоидных органах.

Однако, согласно некоторым исследованиям, лимфатическая система у рыб либо отсутствует, либо находится в зачаточном состоянии.

Тем не менее, по мнению некоторых авторов, лимфатические сосуды проходят через многие органы и могут быть дифференцированы (под кожей около позвоночника, головы и хвоста, жаберных органов, полости рта, кишечника и т.д.).

Данные сосуды имеют структуру, аналогичную венам того же калибра, но с более тонкой стенкой, которая может быть ограничена простым эндотелием.

Существуют клапаны, позволяющие повторно вводить лимфу в венозную систему.

Возможно, что транспортирующие лимфу сосуды были перепутаны с сосудами

secondary circulation: on this topic, uncertainty remains (Genten et al. 2010)

This chapter aims to briefly present the state of knowledge on the organs, cells and mechanisms of immunity in the sturgeon.

It also aims to show the results of some work on the stress factors that affect the immune system and the means to boost the latter.

This is not a comprehensive collection of bibliography but a summary opening many avenues of thought on the matter.

Immunity Organs

There are several types of immune organs which vary between different types of fish.

Lymphoid (lymphomyeloid) tissues in sturgeons (hybrid sturgeon: *Huso huso* x *Acipenser ruthenus*, *Acipenser transmontanus* (Fänge 1986) and *Acipenser oxyrinchus oxyrinchus* (Gradil et al. 2014a, b) and *Acipenser naccarii* (Icardo et al. 2002)) were investigated by dissection, histology and transmission electron microscopy

The main lymphomyeloid tissues are the thymus, the spleen, the anterior part of the kidney, the meningeal myeloid tissue, the pericardial tissue and lymphoid masses of the intestine, especially in the spiral valve (Fänge 1986; Lange et al. 2000).

Thus, Chondrosteans (*Acipenseridae* and *Polyodontidae*) and *Polypterus* are the only ones that possess a main site of mass production of granulocyte (for the most part), erythrocyte and lymphocyte cells that can be compared to the meninges in humans, called meningeal myeloid tissue.

Their heart is often covered with a tissue, which contains lymphocytes, fibroblasts and macrophages.

The highly diversified and well-developed lymphoid tissues of sturgeons may serve as a basis for efficient immune mechanisms

вторичного кровообращения: по этому вопросу ученые не пришли к однозначному мнению (Гентен и др., 2010)

Цель данной главы заключается в кратком представлении знаний об органах, клетках и механизмах иммунитета у осетровых.

Также данная глава имеет своей целью представить результаты некоторой работы по изучению факторов стресса, влияющих на иммунную систему, и средств для повышения последней.

В данной работе представлен не исчерпывающий список литературы, а обобщение, открывающее множество направлений для размышлений по данному вопросу.

Органы иммунитета

Существует несколько типов иммунных органов, которые различаются у разных видов рыб.

Лимфоидные (лимфомиелоидные) ткани у осетровых (гибридный осетр: *Huso huso* x *Acipenser ruthenus*, *Acipenser transmontanus* (Fänge 1986) и *Acipenser oxyrinchus oxyrinchus* (Gradil et al. 2014a, b) и *Acipenser naccarii* (Icardo et al. 2002)) были исследованы посредством вскрытия, гистологии и просвечивающей электронной микроскопии.

Основными лимфомиелоидными тканями являются тимус, селезенка, передняя часть почки, менингеальная миелоидная ткань, перикардальная ткань и лимфоидные массы кишечника, особенно в спиральном клапане (Fänge 1986; Lange et al. 2000).

Таким образом, хондростеи (*Acipenseridae* и *Polyodontidae*) и полиптерусы являются единственными, которые обладают основным местом массового производства гранулоцитов (по большей части), эритроцитов и лимфоцитов, которые можно сравнить с мозговыми оболочками у людей, называемыми менингеальной миелоидной тканью.

Их сердце часто покрыто тканью, которая содержит лимфоциты, фибробласты и макрофаги.

Высокодифференцированные и хорошо развитые лимфоидные ткани осетровых могут служить основой для эффективного

(Fänge 1986).

However, the slow development of these immune organs may render sturgeon more vulnerable to viruses or other waterborne pathogens and may contribute to high mortalities seen in early life stages (Gradil et al. 2014a, b).

Indeed this study has demonstrated that these immune organs are first visible with an optic microscope between 541 degrees day (dd) (spleen) and 768 dd (meningeal myeloid tissue and thymus), approximately 400 dd after the onset of feeding.

With the exception of an uncategorized granulocyte found in low numbers, all observed cell types are similar to those of other fish species.

Thus, no lymphocytes have appeared in any of the analysed immune organs up to 768 dd.

Other factors such as maternal protective immunity, the content of the yolk sac as well as the role of other relevant organs, particularly the gut, should also be considered in future developmental studies when assessing the overall immunity in sturgeon early life stages.

Most of the sturgeon species concerned may certainly be considered as having a fully functional immune system within 3 months (1.5 months in the best cases).

This may, however, vary as a function of the temperature.

Skin

The skin mucus of fish acts as the first line of self-protection against pathogens in the aquatic environment with a bacteriostatic activity.

The skin mucus has a number of innate immune components such as complement molecules, lectins, proteolytic enzymes and

функционирования иммунных механизмов (Fänge 1986).

Однако медленное развитие данных иммунных органов может сделать осетровых более уязвимыми к вирусам или другим переносимым через воду патогенам и может способствовать высокой смертности, наблюдаемой на ранних стадиях жизни (Gradil et al. 2014a, b).

Действительно, настоящее исследование продемонстрировало, что данные иммунные органы впервые были исследованы с помощью оптического микроскопа между 541 градусо-дней (dd) (селезенка) и 768 градусо-дней (менингеальная миелоидная ткань и тимус), примерно через 400 дней после начала кормления.

За исключением некатегоризированных гранулоцитов, обнаруженных в небольшом количестве, все наблюдаемые типы клеток аналогичны таковым у других видов рыб.

Таким образом, ни в одном из проанализированных иммунных органов до 768 градусо-дней не было отмечено появления лимфоцитов.

Другие факторы, такие как защитный иммунитет матери, содержание желточного мешка, а также роль других соответствующих органов, особенно кишечника, также следует учитывать при проведении будущих исследований развития при оценке общего иммунитета на ранних стадиях жизни осетровых.

Большинство рассматриваемых видов осетровых, безусловно, можно считать обладающими полностью функциональной иммунной системой в течение 3 месяцев (в лучшем случае 1,5 месяца).

Однако данные показатели могут варьироваться в зависимости от температуры.

Кожа

Кожная слизь рыб действует как первая линия самозащиты от патогенов в водной среде, обладая бактериостатической активностью.

Кожная слизь содержит ряд врожденных иммунных компонентов, таких как молекулы комплемента, лектины,

antimicrobial peptides (AMPs), which have been well documented for several fish species.

Lectins are proteins that bind specifically and reversibly to certain carbohydrates.

They are involved in various biological processes at the level of recognition between cells as in immune mechanisms.

Antimicrobial peptides are proteins which are naturally synthesized to act as defences against bacteria, both gram-positive and gram-negative, fungi and viruses.

Firstly mucus prevents bacteria from adhering to epithelial cells.

Then, due to the presence of the complement system, mucus has a dose-dependent bacteriostatic action, as demonstrated in the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*).

In a study, it was shown that the skin mucus heating, treatment with EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid is used as an inhibitor of $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$) and anti-C1q could significantly reduce its bacteriostatic activity (Fan et al. 2015).

The complement protein, C1q, initiates the classical complement pathway by binding to the antibody-antigen complex and activating other complement factors leading to cell lyses.

Thymus

The thymus is next to the gill openings.

The pharyngeal epithelium covering the thymus constitutes an effective barrier against the entry of both antigenic and non-antigenic materials from the pharyngeal cavity into the thymic parenchyma.

A continuous layer of epithelial cells accomplishes this with lateral intercellular spaces tightly sealed by intercellular junctions such as tight junctions (Castillo et al. 1998).

протеолитические ферменты и антимикробные пептиды (AMP), которые были детально представлены на примере нескольких видов рыб.

Лектины - это белки, которые специфически и обратимо связываются с определенными углеводами.

Данные белки участвуют в различных биологических процессах на уровне распознавания между клетками, а также в иммунных механизмах.

Антимикробные пептиды представляют собой белки, которые естественным образом синтезируются для защиты от грамположительных и грамотрицательных бактерий, грибов и вирусов.

Во-первых, слизь предотвращает прилипание бактерий к эпителиальным клеткам.

Затем, благодаря наличию системы комплемента, слизь обладает дозозависимым бактериостатическим действием, как это было продемонстрировано на примере сибирского осетра (*Acipenser baerii*).

В исследовании было показано, что нагревание кожной слизи, обработка ЭДТА (этилендиаминтетрауксусная кислота используется в качестве ингибитора $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$) и анти-C1q могут значительно снизить ее бактериостатическую активность (Fan et al., 2015).

Белок комплемента, C1q, инициирует классический путь комплемента, связываясь с комплексом антитело-антиген и активируя другие факторы комплемента, приводящие к лизису клеток.

Вилочковая железа (Тимус)

Вилочковая железа находится рядом с жаберными отверстиями.

Эпителий глотки, покрывающий тимус, представляет собой эффективный барьер против проникновения как антигенных, так и неантигенных материалов из полости глотки в паренхиму тимуса.

Это достигается непрерывным слоем эпителиальных клеток с боковыми межклеточными пространствами, плотно закрытыми межклеточными

The thymus is lobulated, and it has an outer cortex and an inner densely packed medulla with round, basophilic cells identified as T-lymphocytes (T-cells)—“T” for thymus—and reticular cells.

Thus, the thymus is more specialized in lymphopoiesis that is lymphocyte haematopoiesis.

The similarity between the morphological structure of the sturgeon thymus and that of higher vertebrates suggests that they are functionally similar (Gradil et al. 2014a, b).

It has been observed that in the thymus, the percentages of heterophils, eosinophils, lymphocytes, epithelial reticular cells, undifferentiated cells, mitotic cells and necrotic cells do not vary with the age of the sturgeon.

In the study, the only significant difference found was in undifferentiated cell percentages (highest in the oldest group), which might reflect a more active and proliferative thymus in the older animals.

Meningeal Myeloid Tissue

As for bone marrow in mammals, the meningeal myeloid tissue is responsible for haematopoiesis, i.e. the production of all types of blood cells including formation, development and differentiation of blood cells.

All cellular blood components are derived from haematopoietic system cells.

Nevertheless, most of the cells that are produced are granulocytes: neutrophils, eosinophils, basophils and heterophils (i.e. neutrophils that lack myeloperoxidase and have a reduced ability for oxidative bursts) (Dove et al. 2010; Palić et al. 2011).

соединениями, такими как плотные соединения (Castillo et al. 1998).

Вилочковая железа имеет дольчатую форму, внешнюю кору и внутренний плотно упакованный продолговатый мозг с круглыми базофильными клетками, идентифицируемыми как Т-лимфоциты (Т-клетки) — “Т” для тимуса — и ретикулярные клетки.

Таким образом, тимус более специализирован в лимфопоэзе, то есть в кроветворении лимфоцитов.

Сходство между морфологической структурой вилочковой железы осетровых и высших позвоночных предполагает их функциональную схожесть (Gradil et al. 2014a, b).

Было замечено, что в тимусе процентное содержание гетерофилов, эозинофилов, лимфоцитов, эпителиальных ретикулярных клеток, недифференцированных клеток, митотических клеток и некротических клеток не меняется в зависимости от возраста осетра.

В ходе исследования было обнаружено единственное существенное различие в процентах недифференцированных клеток (самое высокое в самой старшей группе), что может указывать на наличие более активной и пролиферативной тимусной ткани у пожилых животных.

Менингеальная миелоидная ткань

Что касается костного мозга у млекопитающих, то менингеальная миелоидная ткань отвечает за гемопоэз, то есть за производство всех типов клеток крови, включая формирование, развитие и дифференцировку клеток крови.

Все клеточные компоненты крови получены из клеток кроветворной системы.

Тем не менее, большинство продуцируемых клеток являются гранулоцитами: нейтрофилами, эозинофилами, базофилами и гетерофилами (т.е. нейтрофилами, у которых отсутствует миелопероксидаза и снижена способность к окислительным вспышкам) (Dove et al. 2010; Palić et al. 2011).

The meningeal myeloid tissue is located within the cranial cavity and surrounded dorsolaterally by the cartilaginous skull V. Chesneau 377 and medio-ventrally by the brain or spinal cord, in a saddle-like manner (Gradil et al. 2014a, b; Scharrer 1944).

An ontogeny study demonstrates that this immune organ is first visible with an optic microscopic in 768 dd fish, approximately 400 dd after the onset of feeding.

In 768 dd fish, the meningeal myeloid tissue consists mainly in reticular cells and undifferentiated cells.

Most cell categories are present in 950 dd and older fishes.

In this tissue, erythrocyte, thrombocyte and mesenchymal reticular cell (i.e. multipotent stromal cells that can differentiate into a variety of cell types) percentages seem to decrease over time

In addition, erythrocytes and thrombocytes are absent in the oldest fishes.

Even if there is no heterophil present in 768 dd fishes, they are the predominant cell type in the meningeal myeloid tissue.

Large fishes have greater heterophil and eosinophil percentage when compared to smaller fishes.

Lymphocytes are the least dominant immune cell type observed.

They are absent in the 768 dd fish.

There is no significant difference in lymphocyte percentages between ages.

Immune-like cells in the brain ventricles of larval lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) have also been described (Evans and Li 2014).

Morphologically, these cells appear to be dendritic and pigmented macrophage cell clusters, moving freely within the cerebrospinal fluid (CSF).

The melanomacrophage (MMCs) are also found in hatching eggs.

In older specimens, an association with the

Менингеальная миелоидная ткань расположена в полости черепа и окружена дорсолатерально хрящевой оболочкой черепа и медиовентрально головным или спинным мозгом седловидным образом (Gradil et al. 2014a, b; Scharrer 1944).

Исследование онтогенеза показывает, что данный иммунный орган впервые виден с помощью оптического микроскопа у рыб 768 градусо-дней, примерно через 400 градусо-дней после начала кормления.

У рыб 768 dd(градуco-дней) менингеальная миелоидная ткань состоит в основном из ретикулярных и недифференцированных клеток

Большинство категорий клеток присутствуют у рыб 950 лет и старше.

В данной ткани процент эритроцитов, тромбоцитов и мезенхимальных ретикулярных клеток (т.е. мультипотентных стромальных клеток, которые могут дифференцироваться в различные типы клеток), по-видимому, уменьшается с течением времени

Кроме того, эритроциты и тромбоциты отсутствуют у самых старых рыб.

Даже если у рыб 768 градусо-дней нет гетерофилов, они являются преобладающим типом клеток в менингеальной миелоидной ткани.

Крупные рыбы имеют больший процент гетерофилов и эозинофилов по сравнению с более мелкими рыбами.

Лимфоциты являются наименее доминирующим типом наблюдаемых иммунных клеток.

Они отсутствуют у рыб 768 градусо-дней.

Существенной разницы в процентном содержании лимфоцитов между возрастaми нет.

Также были описаны иммуноподобные клетки в желудочках головного мозга личинок озерного осетра (*Acipenser fulvescens*) (Evans and Li 2014).

Морфологически данные клетки выглядят как скопления дендритных и пигментированных клеток-макрофагов, свободно перемещающихся в спинномозговой жидкости (ликворе).

Меланомacroфаги (MMCs) также обнаруживаются в инкубационных яйцах.

У более старых образцов была

hypothalamus, a region that integrates endocrine and nervous systems, has been suggested.

This region could possibly be “educating” the acquired immune system

Pericardial Tissue

The subepicardium is characterized by the presence of nodular structures separated from one another by connective tissue.

Each smaller compartment is filled with lymphocytes, reticular cells, granulocytes and scattered macrophages.

The pericardial tissue contains lymphohaemopoietic (thymus-like) tissue in the young sturgeons and a large number of lymphocytes after the sturgeons reach sexual maturity.

It seems to be the site of interaction between lymphocytes and the vascular endothelium.

This tissue is likely implicated in the establishment and maintenance of the immune responses (Icardo et al. 2002).

The subepicardial tissue has two separate components, thymic and haemopoietic, or is a modified thymus with medullary haemopoietic capabilities; this point is not clear.

Therefore, sturgeons present a cervical thymus, and the presence of subepicardial thymic tissue is not a singular case.

However, the atrophy of the subepicardial tissue by the time the sturgeons reach sexual maturation has been observed.

Kidney

The fish kidney, unlike that in mammals, is divided into two sections.

The posterior kidney is an excretory organ with the same function as the mammalian kidney.

The head kidney assumes haemopoietic functions and, unlike higher vertebrates, is the main immune organ responsible for phagocytosis, antigen processing and formation of IgM as well as immune memory through melanomacrophage centres.

предположена связь с гипоталамусом, областью, которая объединяет эндокринную и нервную системы.

Возможно, данная область “обучает” приобретенную иммунную систему

Перикардальная ткань

Субэпикард характеризуется наличием узловых структур, отделенных друг от друга соединительной тканью.

Каждый меньший отсек заполнен лимфоцитами, ретикулярными клетками, гранулоцитами и рассеянными макрофагами.

Ткань перикарда содержит лимфогемопоэтическую (тимусоподобную) ткань у молодых осетровых и большое количество лимфоцитов после достижения осетрами половой зрелости.

По-видимому, это место взаимодействия между лимфоцитами и эндотелием сосудов.

Данная ткань, вероятно, участвует в установлении и поддержании иммунных реакций (Icardo et al. 2002).

Субэпикардальная ткань состоит из двух отдельных компонентов, тимуса и гемопоэтической, или представляет собой модифицированную вилочковую железу с медуллярными кроветворными свойствами; исследователи не имеют однозначного мнения по данному вопросу. Следовательно, у осетровых присутствует шейный тимус, и наличие субэпикардальной тимусной ткани не является единичным случаем.

Однако наблюдалась атрофия субэпикардальной ткани ко времени достижения половой зрелости.

Почка

Почка рыбы, в отличие от почек млекопитающих, разделена на две части.

Задняя почка представляет собой выделительный орган с той же функцией, что и почка млекопитающего.

Головная почка выполняет кроветворные функции и, в отличие от высших позвоночных, является основным иммунным органом, ответственным за фагоцитоз, обработку антигена и образование иммуноглобулина М, а также

The kidney in fish is a disperse organ with a Y shape that is placed along the body axis.

The lower part, situated parallel to the vertebral column, is a long structure most of which works as a renal system.

The active immune part, the head kidney or pronephros, is formed by the two Y arms, which penetrate underneath the gills.

In fish, this structure has a unique feature: the head kidney is also an important endocrine organ, homologous to mammalian adrenal glands, releasing corticosteroids and other hormones.

In addition, it is a well-innervated organ.

Thus, the head kidney is an important organ with key regulatory functions and the central organ for immune-endocrine interactions and even neuro-immuno-endocrine connections (Tort et al. 2003).

Spleen

In sturgeon, the spleen serves as a blood reservoir, and it has immune functions, trapping circulating antigens and being involved in lymphopoiesis.

It is, therefore, a major secondary lymphoid organ.

The spleen has an elongated triangular shape, and it is located on the ventrolateral abdominal wall behind the pancreas and both adjacent and lateral to the intestinal wall and caudal portion of the stomach and pancreas.

The spleen is characterized by the presence of myeloid follicles with mainly basophilic cells (white pulp) surrounding large arteries.

The erythrocytes forming the red pulp are found within ellipsoidal blood vessels and scattered between follicles.

за иммунную память через центры меланомакрофагов.

Почка у рыб представляет собой дисперсный орган Y-образной формы, расположенный вдоль оси тела.

Нижняя часть, расположенная параллельно позвоночному столбу, представляет собой длинную структуру, большая часть которой работает как почечная система.

Активная иммунная часть, головная почка или pronephros, образована двумя Y-образными отростками, которые проникают под жабры.

У рыб данное строение имеет уникальную особенность: головная почка также является важным эндокринным органом, гомологичным надпочечникам млекопитающих, выделяющим кортикостероиды и другие гормоны.

Кроме того, это хорошо иннервируемый орган.

Таким образом, головная почка является важным органом с ключевыми регуляторными функциями и центральным органом для иммунно-эндокринных взаимодействий и даже нейро-иммuno-эндокринных связей (Tort et al. 2003).

Селезенка

У осетровых селезенка служит резервуаром крови, и она выполняет иммунные функции, улавливая циркулирующие антигены и участвуя в лимфопоэзе.

Таким образом, это главный вторичный лимфоидный орган.

Селезенка имеет удлиненную треугольную форму и расположена на вентролатеральной брюшной стенке позади поджелудочной железы, а также прилегает и латерально к внутренней стенке и каудальной части желудка и поджелудочной железы.

Селезенка характеризуется наличием миелоидных фолликулов с преимущественно базофильными клетками (белая пульпа), окружающих крупные артерии.

Эритроциты, образующие красную пульпу, находятся внутри эллипсоидальных кровеносных сосудов и

No melanomacrophage centres are visible in any of the spleen samples studied (Gradil et al. 2014a, b).

The most relevant changes during splenic development in sturgeon are in the heterophil percentages, which are significantly higher in the oldest fish when compared with the younger fish (2895 and 768 dd, respectively).

This reflected a less developed spleen in the younger animals and progressive cell differentiation and maturation over time.

Despite their size, the relatively high percentage of splenic undifferentiated cells in the 950 dd fish might indicate that they are less immunologically developed than the equivalently sized 2895 dd fish.

This suggests that age might also play an important role in immunity at such early life stages.

Intestine

In studies (Korneva and Bednyakov 2011), cells with large bounded secretion, which are found in the intestinal epithelial layer, belong to immunocompetent blood cells, able to move freely from the bloodstream and to penetrate into various organs and tissues.

Ultrastructurally, they belong to granulocytes, which are responsible for the non-specific reactions of the organism.

The size and morphology of the cells observed are similar to those of eosinophils and neutrophils described for the haemopoietic tissue of sturgeons.

While neutrophils occurred quite seldom, eosinophils have been found both in the epithelial layer and below the basal matrix of the intestinal epithelium.

Acipenseridae have a distinctive feature: their spiral valve in the intestine is internally twisted or coiled to increase the surface area of the intestine, thereby increasing nutrient

рассеяны между фолликулами.

Ни в одном из исследованных образцов селезенки не обнаружено очагов меланомакрофага (Gradil et al. 2014a, b).

Наиболее значимые изменения во время развития селезенки у осетровых происходят в процентах гетерофильности, которые значительно выше у самых старых рыб по сравнению с более молодыми (2895 и 768 градусо-дней в году соответственно).

Данное исследование показало менее развитую селезенку у молодых животных и прогрессирующую дифференцировку клеток и созревание с течением времени.

Несмотря на их размер, относительно высокий процент недифференцированных клеток селезенки у рыб 950 градусо-дней может указывать на то, что они менее иммунологически развиты, чем рыбы эквивалентного размера 2895 градусо-дней.

Данный факт свидетельствует о том, что возраст также может играть важную роль в развитии иммунитета на таких ранних этапах жизни.

Кишечник

В исследованиях (Корнева и Бедняков, 2011) клетки с большой ограниченной секрецией, обнаруживаемые в эпителиальном слое кишечника, относятся к иммунокомпетентным клеткам крови, способным свободно перемещаться из кровотока и проникать в различные органы и ткани.

Ультраструктурно они принадлежат к гранулоцитам, отвечающим за неспецифические реакции организма.

Размер и морфология наблюдаемых клеток аналогичны таковым у эозинофилов и нейтрофилов, описанных для кроветворной ткани осетровых.

Хотя нейтрофилы встречались довольно редко, эозинофилы были обнаружены как в эпителиальном слое, так и под базальным матриксом интестинального эпителия.

Семейство Acipenseridae имеют отличительную особенность: их спиральный клапан в кишечнике закручен изнутри, чтобы увеличить площадь

absorption.

The spiral valve has a villous aspect of the mucosa, and it is possible to distinguish nodular structures inside its axis that correspond to lymphoid organs.

Immune Cells and Mechanisms of Immunity

As in mammals, the immune system of fish is composed of a non-specific system (innate immunity) and a specific system (adaptive or acquired immunity).

When an infectious agent penetrates the body, non-specific (innate) defence mechanisms are stimulated first.

This activation alone may be sufficient to halt the infection.

Otherwise, the disease develops and induces specific mechanisms, in particular the production of immunoglobulins.

In vertebrates and most fishes, the resident immune cells in tissues are mastocytes, macrophages and dendritic cells.

The immune cells, which patrol the body via the blood, are neutrophils, heterophils, eosinophils, basophils, monocytes, natural killer (NK) cells and T- and B-lymphocytes (T-cells and B-cells).

поверхности кишечника, тем самым увеличивая всасывание питательных веществ.

Спиральный клапан имеет ворсинчатый аспект слизистой оболочки, и внутри его оси можно различить узелковые структуры, которые соответствуют лимфоидным органам.

Иммунные клетки и механизмы иммунитета

Как и у млекопитающих, иммунная система рыб состоит из неспецифической системы (врожденный иммунитет) и специфической системы (адаптивный или приобретенный иммунитет).

Когда инфекционный агент проникает в организм, сначала стимулируются неспецифические (врожденные) защитные механизмы.

Одной этой активации может быть достаточно, чтобы остановить заражение.

В противном случае заболевание развивается и индуцирует специфические механизмы, в частности выработку иммуноглобулинов

У позвоночных и большинства рыб резидентными иммунными клетками в тканях являются мастоциты, макрофаги и дендритные клетки.

Иммунными клетками, которые патрулируют организм через кровь, являются нейтрофилы, гетерофилы, эозинофилы, базофилы, моноциты, естественные киллеры (NK), а также Т- и В-лимфоциты (Т-клетки и В-клетки).