

Филогенез нервной системы: этапы, основные направления и закономерности

М.О. Урясев¹, студент медико-биологического факультета ФГБОУ ВО РНИМУ имени Н.И. Пирогова (maxim.uryasev@yandex.ru)

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации (117513, г. Москва, ул. Островитянова, дом 1)

Резюме. Нервная система обеспечивает быстрое реагирование на изменения среды посредством рефлексов, объединяя организм в целое. Беспозвоночные и хордовые различаются организацией, но их нервные клетки устроены сходно. Эволюция нервной системы сопровождалась процессами централизации и цефализации нервных клеток. На основе эволюционного развития реакций «внешних» клеток возникли сенсорные рецепторные связи: зрение, слух, обоняние, вкус. Чем сложнее сенсорная система, тем глубже процесс цефализации и разнообразней сигналы, поступающие в нервные узлы, тем больше регулирующая роль центральных областей на реакции организма.

Ключевые слова: нервная система, беспозвоночные, хордовые, эволюция, централизация, цефализация.

Phylogeny of the nervous system: stages, main directions and patterns

M.O. Uryasev¹, a student of the Faculty of Medicine and Biology of the Pirogov Russian National Research Medical University (maxim.uryasev@yandex.ru)

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «N.I. Pirogov Russian National Research Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation (1 Ostrovityanova str., Moscow, 117513)

Resume. The nervous system facilitates rapid responses to environmental changes through reflexes, integrating the organism as a whole. Invertebrates and chordates differ in the organization of their nervous systems, but their nerve cells are structured similarly. The evolution of the nervous system was accompanied by processes of centralization and cephalization of nerve cells. The evolutionary development of reactions in external cells led to the emergence of sensory receptor systems, including vision, hearing, smell, and taste. The more complex the sensory system, the deeper the process of cephalization, the more diverse the signals entering the nerve ganglia, and the greater the regulatory role of central areas in the organism's responses.

Keywords: nervous system, invertebrates, chordates, evolution, centralization, cephalization.

Введение

Эволюция — необратимый, закономерный процесс развития живой природы. Филогенез представляет цепь генетически связанных онтогенезов [6].

А.Н. Северцов в работе «Современные задачи эволюционной теории» сформулировал основной закон эволюции: современные организмы происходят от более простых форм через постепенные изменения. В книге «Главные направления эволюционного процесса» он подчеркивал, что филогенез — адаптивный процесс, формирующий биологически полезные признаки при изменении среды [7].

Организмы реагируют на внешние раздражители через системы регуляции — нервную и эндокринную. Нервная система обеспечивает быстрое реагирование на изменения среды посредством рефлексов, объединяя организм в целое. У позвоночных она играет ключевую роль во внутренней и внешней координации [1, 10, 13]. По И.П. Павлову, нервная система — «инструмент сношений» организма с внешними влияниями [13].

Эволюция нервной системы отражает усложнение её структуры. Беспозвоночные и хордовые различаются организацией, но их нервные клетки устроены сходно. Основные задачи: интеграция органов, связь со средой, управление поведением.

Усложнение в филогенезе проявляется концентрацией нервных элементов и развитием длинных связей между узлами [3].

Эволюционный переход к нервной системе

Все живые организмы на протяжении жизни испытывают многообразные воздействия со стороны внешней среды, на которые отвечают изменением поведения или физиологических функций. Эта способность реагировать на средовые воздействия называется раздражимостью. Раздражимость имеет место уже у простейших и выражается в изменении у них процессов жизнедеятельности или поведения в ответ на химические, температурные, световые раздражения. Одноклеточные организмы не имеют нервной системы, регуляция жизнедеятельности у них происходит только за счёт гуморальных механизмов. При этом под действием какого-либо фактора внешней или внутренней среды увеличивается выработка регуляторных молекул, которые выделяются непосредственно во внутриклеточную жидкость и поступают к рабочей органелле путём диффузии, после чего формируется ответная реакция на причинный фактор — таксисы [9, 12].

У многоклеточных животных появляется специальная система клеток — нейроны, способные в ответ на определенные раздражения отвечать нервным импульсом, который они передают другим клеткам тела. Совокупность нервных клеток формирует нервную систему, сложность структуры и функции которой возрастают с усложнением организации животных [12].

Нервная система, появившаяся у многоклеточных организмов, позволяет управлять системами организма более дифференцированно и с меньшими потерями времени на проведение стимула. Поэтому у всех современных высокоорганизованных животных при единой нейрогуморальной регуляции функций организма ведущая роль принадлежит именно нервной системе [9].

Нервная система имеет эктодермальное происхождение. На низших этапах эволюции органического мира раздражения воспринимаются эктодермальными клетками и передаются соседним клеткам посредством протоплазматических связей (плазмодесм). Более специализированные клетки, похожие на нервные, появляются у губок, а у кишечнополостных — уже настоящие нервные элементы, образующие очень примитивную диффузную нервную систему, состоящую из сети разбросанных нервных клеток, соединенных между собой своими отростками [14].

Развитие нервной системы шло в направлении от примитивных животных форм с преимущественно гуморальным способом регуляции — одноклеточные организмы, в направлении нервного способа регуляции — многоклеточные организмы. По мере развития нервной системы нервная регуляция все больше подчиняла себе гуморальную регуляцию, так что образовалась единая нейрогуморальная система регуляции живой системы [2, 3].

Клетки нервной системы как беспозвоночных, так и хордовых животных устроены принципиально одинаково. С усложнением строения животного заметно изменяется и структура нервной системы. Совершенствование нервной системы в филогенетическом ряду идет через концентрацию нервных элементов в узлах и появление длинных связей между ними. Следующим этапом является цефализация — образование головного мозга, который берет на себя функцию формирования поведения. Уже на уровне высших беспозвоночных (насекомые) появляются прототипы корковых структур (грибовидные тела), в которых тела клеток занимают поверхностное положение. У высших хордовых животных в головном мозге уже имеются настоящие корковые структуры и развитие нервной системы идет по пути кортиколизации, т. е. передачи всех высших функций коре головного мозга. Следует отметить, что с усложнением структуры нервной системы предыдущие образования не исчезают. В нервной системе высших организмов остаются и сетевидная, и цепочная, и ядерная структуры, характерные для предыдущих ступеней развития [3].

Анализ литературных данных показал, что существует несколько этапов в эволюции нервной системы. Большинство авторов выделяет три типа нервной системы: диффузная (сетевидная) нервная система (характерна для кишечнополостных); ганглиозная (цепочно-узловая нервная система (характерна для червей, моллюсков и членистоногих) и трубчатая нервная система (характерна для позвоночных) [9, 11–13].

Эволюция нервной системы беспозвоночных

Для беспозвоночных характерен полигенез нервных клеток, происходящих из разных зародышевых листков, что обеспечивает разнообразие медиаторных механизмов. У кишечнополостных впервые возникает нервная система диффузного типа — сеть нейронов без поляризованных отростков. Возбуждение распространяется во всех направлениях, обеспечивая взаимозаменяемость клеток, но ответы остаются неточными. Контакты

включают анастомозы и синапсы (симметричные / несимметричные). У гидры нейроны равномерно распределены с уплотнениями у рта и подошвы [3, 13]. У медуз нервные элементы образуют тяжи в экто- и энтодерме, управляя сокращением эпителия. Краевые тельца координируют плавание [4, 14].

Плоские черви демонстрируют переход к узловой системе (ортогон): головной ганглий, продольные стволы и поперечные комиссуры. Рецепторы распределены по телу, поведение ограничено простыми рефлексами [3, 4, 9]. У паразитических форм редуцируются органы чувств. Сегментация у кольчатых червей привела к ганглиям в каждом сегменте, соединенным коннективами. Надглоточный ганглий (ассоциативный центр) контролирует подглоточный узел. Нейропилль содержит переплетение отростков, периферия — чувствительные (вентральные) и двигательные (дорсальные) нейроны [3].

Круглые черви сохраняют ортогон: окологлоточное кольцо с ганглиями и 6 нервными стволами. Спинной и брюшной стволы иннервируют мускульные ленты [4, 8].

Моллюски имеют систему из парных ганглиев (надглоточных, pedalных, pleuralных). У головоногих ганглии сливаются в мозг с развитыми зрительными долями. Гигантский аксон кальмара — модель для нейрофизиологии [4, 8, 14].

Членистоногие обладают брюшной нервной цепочкой и надглоточным ганглием (мозгом). Мозг делится на: протоцеребрум (ассоциативные зоны, зрительные центры); дейтоцеребрум (антенные и обонятельные доли); тритоцеребрум (регуляция ротового аппарата). У насекомых грибовидные тела протоцеребрума — аналог коры млекопитающих — достигают максимума у социальных видов [4, 8]. Грудные ганглии управляют движениями, а нейросекреторные клетки регулируют гормональные процессы [3, 8].

Кольчатые черви демонстрируют сегментированную систему: ганглии в каждом сегменте связаны коннективами. Подглоточный узел контролирует три последующих ганглия, надглоточный — высший ассоциативный центр. У многощетинковых червей надглоточный ганглий делится на отделы, иннервирующие щупальца, глаза и хеморецепторы [3].

Основные направления эволюции нервной системы беспозвоночных:

- Централизация через радиальную (моллюски) или лестничную (черви) системы [9];
- Цефализация и кортиколизация (грибовидные тела насекомых);

- Сохранение примитивных структур (сетевидные, цепочные) у высших форм [3];

- Доминирование инстинктивного поведения при цепочно-узловой организации [11].

Централизация представляет собой процесс скопления нервных клеток, при котором отдельные нервные клетки и их ансамбли стали выполнять специфические регулятивные функции в центре и образовали центральные нервные узлы [11]. Централизованность нервной системы привела к формированию рефлекторных дуг. Процесс централизации происходил двумя путями: с образованием радиальной (несимметричной) нервной системы (иглокожие, моллюски) и лестничной (симметричной) системы (например, плоские и круглые черви) [9].

Цепочно-узловая нервная система способна обеспечить в основном только врожденное инстинктивное поведение, предназначенное для выполнения наследственно закрепленных программ [11].

Эволюция нервной системы хордовых

Эволюция нервной системы хордовых связана с формированием трубчатой структуры, развивающейся из спинной эктодермы зародыша. На ранних стадиях гаструляции эктодермальные клетки под действием гена *Zfp521* дифференцируются в нейроэктодерму, образуя медуллярную пластинку, которая сворачивается в нервную трубку [2]. Этот процесс, сохраняющийся у всех позвоночных, обеспечивает принципиально новую организацию центральной нервной системы (ЦНС) — не только сохранение инстинктов, но и способность к обучению через условные рефлексы и формирование памяти [11]. Переход от перистальтического движения к скелетной моторике (у членистоногих и позвоночных) стимулировал развитие поперечно-полосатой мускулатуры и ЦНС, координирующей работу мышц и скелетных рычагов [13].

У бесчерепных (ланцетник) нервная трубка сохраняет примитивные черты: передний конец образует небольшое расширение — зачаток головного мозга, а светочувствительные глазки Гессе в стенках трубки выполняют функцию фоторецепторов [1, 9, 14]. У позвоночных этап цефализации сопровождается дифференцировкой переднего отдела трубки в головной мозг. Первоначально формируются три первичных мозговых пузыря: передний (prosencephalon), средний (mesencephalon) и задний (rhombencephalon). На стадии пяти пузырей выделяются промежуточный мозг (таламус, гипоталамус) и продолговатый мозг. Развитие коры больших полушарий и мозжечка у высших позвоночных сопро-

воздаётся увеличением площади за счёт извилин, что обеспечивает сложную интеграцию сенсорной информации [1, 2, 5, 14].

Сравнительный анализ мозга позвоночных демонстрирует постепенное усложнение структуры. У круглоротых (миноги) мозг сохраняет примитивную организацию: пять отделов расположены в одной плоскости, доминирует задний мозг, отвечающий за механорецепцию, а слабый мозжечок отражает простоту двигательных реакций. Передний мозг представлен обонятельными луковицами и долями, что подчёркивает важность хеморецепции в водной среде [3, 14]. У рыб передний мозг лишён полушарий, но вокруг желудочков формируется древняя кора (палеокортекс). Средний мозг со зрительными долями становится высшим интегративным центром, а мощный мозжечок координирует сложные движения при плавании. Продолговатый мозг развивает висцеральные доли, связанные с вкусовой рецепцией [2, 3, 14].

У амфибий, адаптировавшихся к наземной среде, передний мозг разделяется на полушария с боковыми желудочками. На медиальной поверхности полушарий появляется архипаллиум (старая кора) — эволюционный предшественник гиппокампа. Мозжечок редуцирован из-за простоты движений, а интегративные функции переходят к среднему мозгу (двухолмие) и промежуточному мозгу [2–4, 14]. Рептилии демонстрируют дальнейший прогресс: передний мозг увеличивается за счёт полосатых тел, а на поверхности полушарий формируются островки коры (гиппокамп). Средний мозг представлен двухолмием, а мозжечок, хотя и слабее, чем у птиц, обеспечивает координацию движений [2, 3, 14].

У птиц доминируют полосатые тела (гиперстриатум), управляющие сложным поведением, включая полёт. Мощный мозжечок координирует движения крыльев, а редукция обонятельных долей отражает снижение роли хеморецепции. Средний мозг развивает зрительные доли, обрабатывающие информацию от высокоразвитых глаз [1–3, 14]. У млекопитающих эволюционный пик выражен в развитии новой коры (неопаллиума) с бороздами и извилинами, увеличивающими площадь для ассоциативных зон. Мозолистое тело связывает полушария, обеспечивая межполушарную интеграцию. Средний мозг преобразуется в четырёхолмие (зрение и слух), а мозжечок с червем и полушариями координирует сложную моторику [1–3, 14].

Выделяют три типа мозга позвоночных: ихтиопсидный (рыбы, амфибии) с доминированием среднего мозга, зауропсидный (рептилии, птицы)

с акцентом на полосатые тела и млекопитающий (млекопитающие), где высшие функции контролирует кора [1, 2, 8].

Основные направления эволюции нервной системы хордовых:

- Цефализация — процесс развития переднего конца нервной трубки и формирования головного мозга, связанный с тем, что нервные клетки и окончания стали специализироваться на приеме внешних раздражителей и распознавании средовых факторов, происходило смещение интегративных функций к переднему мозгу [1, 11].

- Кортиколизация — подчинение подкорковых структур коре и усложнение желудочковой системы, поддерживающей гомеостаз ЦНС [5, 8, 14].

- Сохранение основных филогенетически сформировавшихся функций отделов головного мозга у разных таксономических групп животных. Продолговатый мозг сохраняет жизненно важные центры (дыхание, кровообращение), а гипоталамус интегрирует нейроэндокринную регуляцию [13].

В ходе онтогенеза человека происходит повторение этапов филогенеза головного мозга: нейруляция → формирование пузырей → дифференциация отделов. Нарушения на стадии нейруляции приводят к порокам: рахисхиз (незаращение нервной трубки), spina bifida (расщепление позвоночника), агирия (отсутствие извилин) — все они сопровождаются тяжёлыми неврологическими дефектами [1, 2, 10]. Функциональная асимметрия мозга человека отражает специализацию полушарий: левое отвечает за речь и логику, правое — за образное мышление [2].

Несмотря на доминирование коры у млекопитающих, в организме сохраняются примитивные структуры: диффузные нервные сети в кишечнике, ганглии вегетативной системы. Это демонстрирует преемственность эволюционных этапов. Нервная система продолжает усложняться, адаптируясь к новым экологическим нишам, а её изучение остаётся ключом к пониманию как биологических, так и социальных аспектов человеческой природы [11].

Заключение

Таким образом, функциональное формирование нервной системы, синаптических контактов и нервных сетей имело сложный эволюционный путь. От простейших кишечнорастворимых или от других родственных им животных ещё в самом начале истории Земли и развития на ней жизни произошли две ветви животного мира с различным строением нервной системы и различной психикой. Одна ветвь вела к образованию червей и члени-



стоногих с ганглиозным типом нервной системы. Ее современной вершиной являются термиты, муравьи и пчелы, т. е. насекомые, живущие весьма сложными сообществами. Вторая ветвь вела к образованию позвоночных с трубчатым типом нервной системы: рыб, амфибий и рептилий (с ответвлением птиц), и наконец, млекопитающих. Ее вершиной является человек [11].

При этом следует помнить, что эволюция нервной системы сопровождалась процессами централизации и цефализации нервных клеток.

Предполагается, что на основе эволюционного развития реакций именно «внешних» клеток возникли сенсорные рецепторные связи: зрение, слух, обоняние, вкус. Формировалась следующая зависимость: чем сложнее сенсорная система, тем глубже процесс цефализации и разнообразней сигналы,

поступающие в нервные узлы, тем больше регулирующая роль центральных областей на реакции организма. Соответственно усиливаются приспособительные возможности организма к постоянно изменяющейся среде [1, 2, 5, 11, 13].

В филогенетическом ряду хордовых у млекопитающих проявляется не только цефализация, но и кортиколизация функций, выражающаяся в преимущественном развитии коры конечного мозга [2, 3].

Отсюда можно сделать вывод, что процесс централизации и цефализации лежит в основе усложнения функций нервной системы, развития функциональной иерархии нервных сетей и их структурных образований. Процесс централизации и цефализации эволюционно обеспечил переход от периферической интеграции нервных клеток и окончаний к центральной интеграции [2, 11].

Литература

1. Биология / под ред. В. Н. Ярыгина. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. — Т. 2. — 560 с.
2. Биология / Под ред. акад. РАО Н.В. Чебышева. — М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2016. — 640 с.: ил.
3. Воронова Н. В. Анатомия центральной нервной системы / Н. В. Воронова, Н. М. Климова, А. М. Менджерицкий. — М.: Аспект Пресс, 2005. — 128 с. ISBN 5-7567-0388-8.
4. Жуков В.В. Анатомия нервной системы / В.В. Жуков, Е.В. Пономарева, — Калинингр. ун-т. — Калининград, 1998. — 68 с.
5. Калашников И.Н. Филогенез систем органов хордовых животных/ И. Н. Калашников, Т. Г. Щербатюк; Нижегородская государственная медицинская академия. — Нижний Новгород : Изд-во НижГМА, 2018. — 130 с. ил., цв. ил.; 20. — ISBN 978-5-7032.
6. Онтогенез и филогенез Хордовых / Сост. И.Н. Волков и др. М.: ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, 2019. Ч. 2. 52 с.
7. Поздняков А.А. Онтогенез и филогенез: модели взаимоотношений / А.А. Поздняков// Русский орнитологический журнал Том 31 -2022.- Экспресс-выпуск 2256, -С. 5323-5372.
8. Снигур, Г. Л. Филогенез нервной системы. Аномалии развития : учебное пособие / Г. Л. Снигур, Т. Н. Щербакова, Э. Ю. Сахарова. — Волгоград : ВолГМУ, 2019. — 76 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/141233> (дата обращения: 04.03.2025).
9. Тишевской И.А. Анатомия центральной нервной системы / И.А. Тишевской — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. — 131 с.
10. Филогенез. Эволюция систем органов хордовых животных. // «Dendrit» — информационный портал для медицинских работников, студентов медицинских ВУЗов, исследователей и пациентов: [сайт]. — URL: <https://dendrit.ru/page/show/mnemonick/filogenez-evolyuciya-sistem-organov-hord/> (дата обращения: 01.03.2025).
11. Функциональная эволюция центральной нервной системы // Портал медицинских лекций: [сайт]. — URL: <https://medlec.org/lek2-80490.html> (дата обращения: 01.03.2025).
12. Ходжаян А.Б. К некоторым вопросам эволюции. А.Б.Ходжаян, Н.Н. Федоренко, Л.А. Краснова, — Изд: СтГМА.- 2009г. — с.31.
13. Хомутов А.Е. Анатомия человека. Нейрология /А.Е. Хомутов, Е.В. Крылова, С.В. Копылова, — Нижний Новгород: Изд-во ННГУ. 2015. — 160 стр.
14. Ястребова С.А. Эволюция систем органов: учеб. пособие / С.А. Ястребова, В.Е. Сергеева, С.П. Сапожников и др. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. — 168 с.

