HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

АНАТОМО-ГИСТОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СПИННОМОЗГОВЫХ УЗЛОВ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ

Зарипова Мадина

Наманганский филиал Международного университета КИМЁ (KIUT) Группа: MED_N_25R

E-mail: lunimeee05@gmail.com Тел.: +998950524705

Научный руководитель:**Камалова Гульнара Гулямовна**

Доктор философии по медицинским наукам (PhD), и. о. доцента, заведующий кафедрой медико-фундаментальных дисциплин

Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.23696233

Аннотация: В данной статье рассматриваются вопросы анатомо-гистологической организации спинномозговых узлов (ганглиев задних корешков) и морфофункциональные особенности чувствительных нейронов. Подробно описаны цитоархитектоника ганглия, структура псевдоуниполярных нейронов, их размерная и молекулярно-гистохимическая классификация. Особое внимание уделено роли мантийных клеток-сателлитов, особенностям гемато-ганглионарного барьера, а также механизмам нейрон-глиального взаимодействия при физиологических условиях и патологии.

Ключевые слова: спинномозговой узел, DRG, псевдоуниполярные нейроны, клетки-сателлиты, мантийные глиоциты, гемато-ганглионарный барьер, ноцицепция, нейрон-глиальная коммуникация.

Abstract: This article discusses the anatomical and histological organization of the dorsal root ganglia (DRG) and the morphofunctional features of sensory neurons. The cytoarchitecture of the ganglion, the structure of pseudounipolar neurons, and their dimensional, molecular, and histochemical classifications are described in detail. Special attention is paid to the role of satellite glial cells, the characteristics of the hematoganglionic barrier, and the mechanisms of neuron-glial communication under physiological and pathological conditions.

Keywords: dorsal root ganglion, DRG, pseudounipolar neurons, satellite glial cells, hematoganglionic barrier, nociception, neuron-glial communication.

1. Введение

1.1. Понятие о спинномозговых ганглиях

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

Спинномозговые (спинальные) узлы (*ganglia spinalia*, или ганглии задних корешков — *dorsal root ganglia*, DRG) представляют собой ключевые структурные образования периферической нервной системы, обеспечивающие восприятие и первичную обработку всей афферентной (чувствительной) информации, поступающей от кожи, мышц, суставов и внутренних органов в центральную нервную систему (ЦНС).

Спинномозговой узел является морфологическим субстратом для тел первых (чувствительных) нейронов простой рефлекторной дуги. Именно здесь происходит интеграция механических, термических, химических и ноцицептивных (болевых) стимулов с последующим проведением импульсов к задним рогам спинного мозга.

1.2. Актуальность изучения гистофизиологии спинальных ганглиев

Изучение микроскопической организации и цитоархитектоники DRG имеет принципиальное значение для фундаментальной нейроморфологии и клинической медицины:

- **Механизмы нейропатической и хронической боли:** Спинномозговые ганглии служат первичным местом возникновения патологической эктопической активности и сенситизации при повреждении периферических нервов, диабетической нейропатии и остеохондрозе.
- **Нейропротекция и регенерация:** Тела чувствительных нейронов, расположенные в DRG, обеспечивают метаболическую и трофическую поддержку длинных аксонов. Понимание их ответа на травму критично для разработки терапевтических стратегий восстановления нервных стволов.
- **Таргетная фармакотерапия:** Наличие специализированного гемато-ганглионарного барьера с повышенной проницаемостью делает спинальные ганглии доступной и перспективной мишенью для системного введения анальгетиков, нейропротекторов и векторных препаратов для генной терапии.

2. Анатомо-топографическая характеристика спинномозговых узлов

2.1. Топография и пространственное расположение

Спинномозговые узлы (*ganglia spinalia*) представляют собой веретенообразные или овальные утолщения, расположенные парно на уровне каждого сегмента спинного мозга.

- **Локализация:** У человека подавляющее большинство DRG располагаются в области межпозвоночных отверстий (*foramina intervertebralia*), за пределами твердой мозговой оболочки (экстрадурально). Исключение составляют узлы крестцового и копчикового отделов, которые могут находить внутри позвоночного канала, а также DRG первых шейных сегментов ($C_1–C_2$), имеющие особенности пространственной ориентации.
- **Связь с корешками спинного мозга:** Каждый ганглий анатомически связан с задним (чувствительным) корешком (*radix dorsalis*). Двигательный передний корешек (*radix*

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

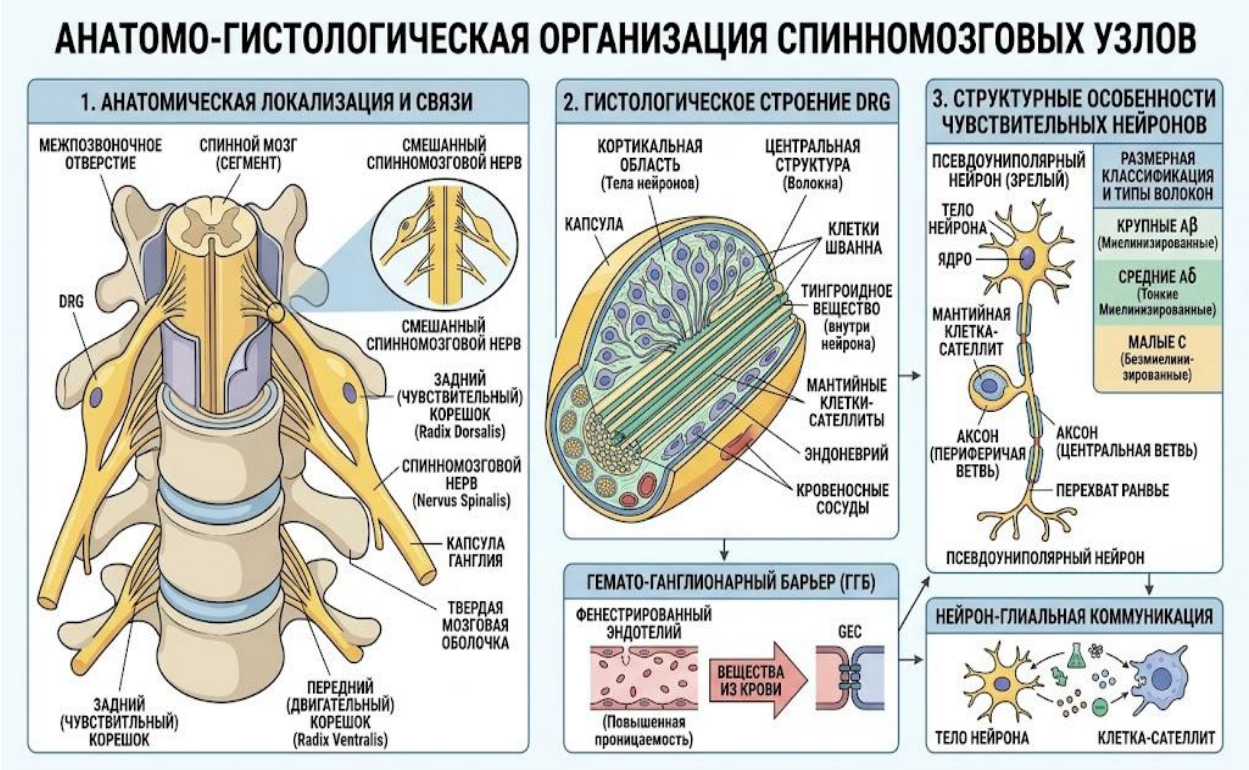
ventralis) проходит по переднемедиальной поверхности ганглия, прилегает к нему внешне, но гистологически не входит в состав его стромы. Сразу за дистальным полюсом ганглия чувствительные и двигательные волокна объединяются, формируя смешанный спинномозговой нерв (*nervus spinalis*).

2.2. Кровоснабжение и гемато-ганглионарный барьер

Метаболическая активность чувствительных нейронов требует обильной васкуляризации, что отражается на микрососудистой архитектонике ганглия.

- **Источники кровоснабжения:** Кровоснабжение DRG осуществляется через радикуло-медуллярные и спинальные ветви сегментарных артерий (шейных, межреберных, поясничных и крестцовых). Артериолы проникают через капсулу и формируют густую капиллярную сеть в эндоневральном пространстве, особенно развитую вокруг тел нейронов.
- **Особенности гемато-ганглионарного барьера (ГГБ):** В отличие от центральной нервной системы, где действует строгий гемато-энцефалический барьер (ГЭБ), капилляры спинномозговых ганглиев обладают **повышенной проницаемостью**.
    - Капилляры DRG содержат фенестры (поры) в эндотелии, а плотные контакты (*tight junctions*) выражены слабее, чем в ЦНС.
    - Это обеспечивает свободный обмен крупномолекулярных веществ, факторов роста и метаболитов между кровью и нейронами, но одновременно делает нейроны DRG более уязвимыми к воздействию циркулирующих токсинов, химиопрепаратов (например, препаратов платины, паклитаксела) и аутоантител.

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr



3. Гистологическое строение спинномозгового узла

Спинномозговой узел имеет четкую структурно-функциональную организацию, где распределение клеток и отростков подчинено определенной архитектонике.

3.1. Соединительнотканный аппарат и архитектоника

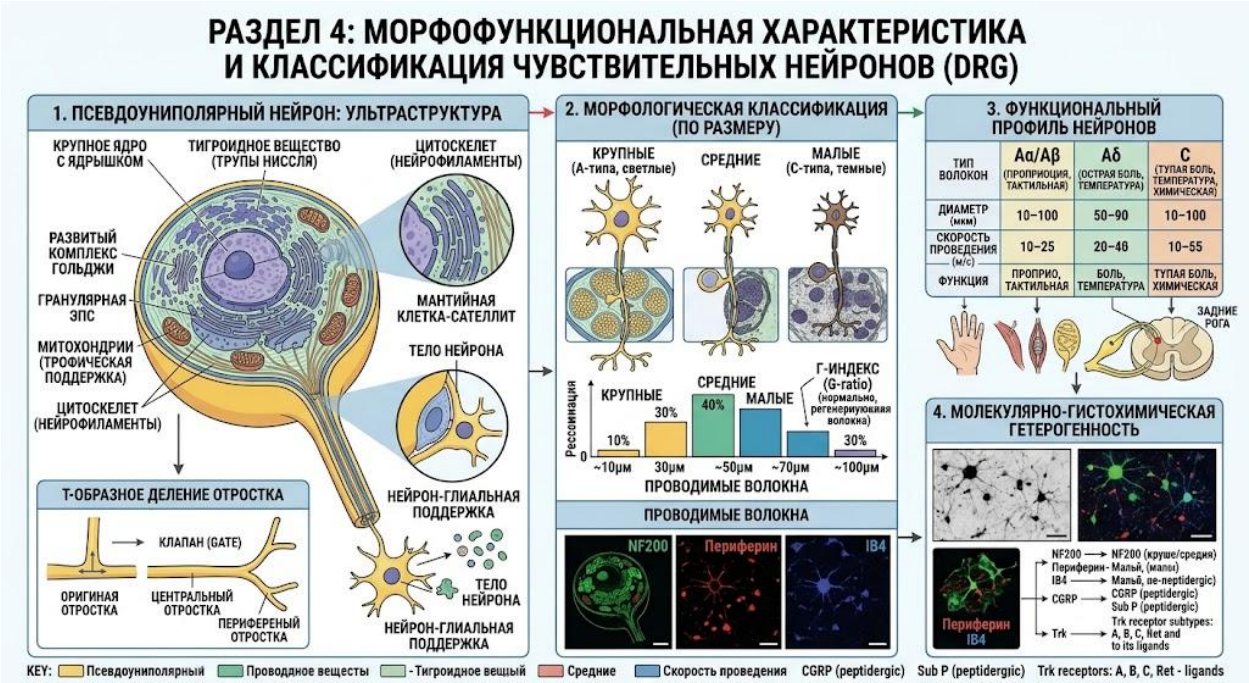
- **Капсула ганглия:** Снаружи узел покрыт плотной соединительнотканной капсулой, которая непрерывно переходит в эпиневрий спинномозгового нерва и твердую оболочку спинного мозга. Капсула содержит коллагеновые волокна, эластические элементы, фибробласты и кровеносные сосуды.
- **Строма и эндоневрий:** От капсулы внутрь узла отходят тонкие прослойки рыхлой соединительной ткани, формирующие строму, которая сопровождает сосуды и нервные волокна (эндоневрий).
- **Кортикально-медуллярная архитектоника:**
    - **Периферическая (кортикальная) зона:** Скопления тел чувствительных нейронов локализуются преимущественно по периферии узла, под самой капсулой.
    - **Центральная зона:** Внутренняя часть ганглия занята преимущественно нервными волокнами (пучками проходящих аксонов) и поддерживающей глией.

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

3.2. Нейроглиальное окружение

Тела нейронов и их отростки в DRG изолированы от прямой связи с соединительнотканными элементами благодаря специализированным глиальным клеткам:

1. **Мантийные глиоциты (клетки-сателлиты / Satellite Glial Cells — SGCs):**
   - Образуют непрерывный однослойный пласт (глиальную капсулу или мантию) вокруг каждого тела псевдоуниполярного нейрона.
   - Имеют уплощенную форму с округлыми ядрами.
   - **Функции:** Обеспечивают метаболическую и трофическую поддержку нейронов, регулируют концентрацию ионов (особенно K^+) и нейромедиаторов в микроокружении, формируют часть локального барьера. Связаны между собой щелевыми контактами (*gap junctions*).
2. **Леммоциты (шванновские клетки):**
   - Сопровождают периферические и центральные отростки нейронов, образуя вокруг них миелиновые или безмиелиновые оболочки.
3. **Клетки стромы:**
   - В эндоневральных пространствах между капсулами нейронов присутствуют фибробласты, резидентные макрофаги и эндотелиоциты капилляров.



HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

5. Молекулярно-гистохимическая гетерогенность и нейрон-глиальная коммуникация в спинномозговых узлах

5.1. Молекулярно-гистохимическая гетерогенность нейронов

Чувствительные нейроны спинномозговых узлов обладают выраженным биохимическим и иммуногистохимическим разнообразием, которое определяет их специализацию в передаче различных модальностей чувствительности.

- **Нейрофиламенты как маркеры:** Крупные и средние нейроны (преимущественно проприоцептивные и низкопороговые механорецепторы) характеризуются высоким уровнем экспрессии тяжелых нейрофиламентов ($NF200$), тогда как мелкие ноцицептивные нейроны экспрессируют белок **периферин**.
- **Пептидергические и непептидергические подтипы:** Малые С-волокна делятся на две крупные популяции:
    - *Пептидергические нейроны:* синтезируют и выделяют нейропептиды, такие как вещество Р (*Substance P*) и кальцитонин-генероподобный пептид (*CGRP*), а также рецепторы нейротрофинов (*TrkA*). Они участвуют в передаче боли и воспалительных процессов.
    - *Непептидергические нейроны:* связывают специфические лектины (например, *IB4*), экспрессируют пуринергические рецепторы ($P2X3$) и рецепторы семейства *Ret*.

5.2. Нейротрофические и ростовые факторы

Выживание, дифференцировка и поддержание функциональной активности нейронов DRG зависят от взаимодействия с трофическими факторами:

- Фактор роста нервов (*NGF*) взаимодействует с рецептором *TrkA* и критически важен для мелких ноцицептивных нейронов.
- Мозговой нейротрофический фактор (*BDNF*) и нейротрофин-3 (*NT-3*) через рецепторы *TrkB* и *TrkC* обеспечивают поддержку крупных проприоцептивных и механочувствительных нейронов.

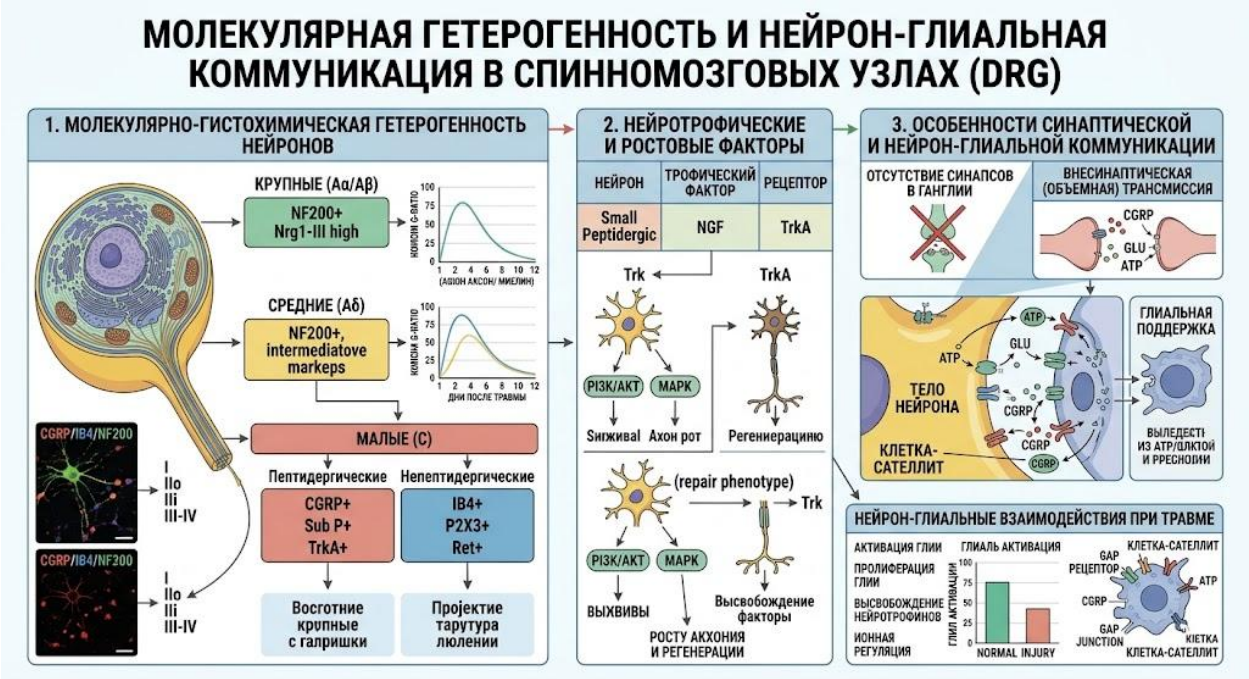
5.3. Особенности синаптической и нейрон-глиальной коммуникации

- **Отсутствие классических синапсов в ганглии:** В отличие от центральной нервной системы, внутри тел спинномозговых узлов отсутствуют классические синаптические контакты между нейронами. Передача информации между ними напрямую не происходит.
- **Внесинаптическая (объемная) трансмиссия:** При активации нейроны могут выделять во внеклеточное пространство нейромедиаторы и нейропептиды (например, АТФ,

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

глутамат, *CGRP*), которые диффундируют в межклеточной среде и влияют на соседние клетки.

- **Нейрон-глиальное взаимодействие (Neuron-glia cross-talk):** Мантийные глиоциты (клетки-сателлиты) тесно контактируют с телами нейронов. При повреждении периферических нервов или развитии патологической боли происходит активация глиоцитов: они пролиферируют, экспрессируют воспалительные цитокины и усиливают межклеточные связи через щелевые контакты (*gap junctions*), поддерживая состояние хронического возбуждения.



6. Патоморфологические изменения спинномозговых узлов при повреждениях и патологиях

Спинномозговые ганглии активно реагируют на травмы периферических нервов, ишемию и токсические воздействия, что приводит к существенной перестройке их структуры:

- **Реактивные изменения нейронов (хроматолиз):** При пересечении или сдавлении периферического отростка в теле нейрона происходит тигроидный распад (хроматолиз) — смещение ядра к периферии и дисперсия тигроидного вещества (глыбок Ниссля). Это отражает переключение метаболизма клетки с функции проведения импульса на синтез белков для регенерации.
- **Глиальный реактивный синдром:** Мантийные клетки-сателлиты (SGCs) при травме активируются, начинают синтезировать воспалительные цитокины (TNF-α, IL-1β, IL-6) и увеличивают количество щелевых контактов. Это приводит к

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

гиперексцитабельности соседних нейронов и лежит в основе механизма **нейропатической боли** и феномена сенситизации.

- **Нейронофагия и апоптоз:** При тяжелых необратимых повреждениях нейрон погибает, а его остатки фагоцитируются мантийными глиоцитами и макрофагами с формированием характерных глиальных узелков (узелки Негеотта).

Заключение

Спинномозговые ганглии представляют собой высокоспециализированные комплексы, сочетающие функции восприятия, первичной обработки и проведения чувствительной информации.

Псевдоуниполярные нейроны, образующие основу ганглия, обладают выраженной гетерогенностью по морфометрическим, функциональным и биохимическим признакам. Тесная метаболическая и функциональная связь между нейронами, мантийными глиоцитами и микрососудистым руслом (с повышенной проницаемостью гемато-ганглионарного барьера) обеспечивает высокую пластичность узла, но одновременно делает его чувствительным к патологическим факторам.

Дальнейшее изучение молекулярных маркеров и механизмов нейрон-глиального взаимодействия в DRG открывает новые перспективы для разработки селективной терапии хронической боли и методов стимулирования регенерации нервной ткани.