

ФИЗИОЛОГИЯ СПИННОГО МОЗГА

1. Функциональная организация спинного мозга
2. Проводниковые функции спинного мозга
3. Рефлексы спинного мозга

Вопрос_1

Функциональная организация спинного мозга

В строении спинного мозга наблюдается метамерность. По всей длине от него отходят 31-33 пары спинномозговых нервов. Они связывают сегменты спинного мозга с разными частями тела. Каждая пара нервов принадлежит определенному сегменту спинного мозга. Вместе они образуют структуру, которая называется *нервотом*.

Каждому нервотому соответствует определенная область тела, который он (нервотом) иннервирует.

Определение_1

Области тела, иннервируемая парой спинномозговых нервов, называется дерматом.

Обратимся к поперечному срезу спинного мозга.

Общее количество нейронов спинного мозга – около 13 млн. Из них 3% - это двигательные нейроны, 97% - вставочные нейроны (в том числе нейроны вегетативной нервной системы). Распределение нейронов и их отростков определяет функциональное значение спинного мозга.

В целом, функции спинного мозга состоят в осуществлении двигательных и вегетативных рефлексов, проведении сенсорных сигналов от рецепторов кожи, мышц, внутренних органов к головному мозгу, а также передачи информации от головного мозга, координирующей деятельность мышц и внутренних органов.

Таким образом, целесообразно все нейроны классифицировать на групп по их функциональному назначению

- эфферентные;
- афферентные;
- вставочные;
- ассоциативные.

Эфферентные нейроны спинного мозга, относятся к соматической нервной системе, они иннервируют скелетную мускулатуру, поэтому их называют мотонейронами.

Различают *α -мотонейроны* и *γ -мотонейроны*. Они участвуют в образовании нервно-мышечного веретена, схема которого представлена на следующем слайде.

Нервно-мышечное веретено включает 2 группы волокон:

1. Волокна, расположенные в центре и погруженные в соединительнотканную капсулу. Они называются интрафузальными волокнами.
2. Не капсулированные волокна, расположенные по периферии называются экстрафузальными мышечными волокнами.

Интрафузальные мышечные волокна отвечают за регуляцию напряжения и мышечный тонус, а экстрафузальные волокна регулируют изменение длины мышцы при ее сокращении или расслаблении.

α -Мотонейроны – иннервируют *экстрафузальные мышечные волокна*, их аксоны характеризуются высокой скоростью проведения возбуждения 70 – 120 м/с. *α -мотонейроны* делятся на две группы *α_1 -мотонейроны* и *α_2 -мотонейроны*.

α_1 -мотонейроны – быстрые, иннервирующие белые мышечные волокна, их лабильность (функциональная подвижность) 30 импульсов в секунду.

α_2 -мотонейроны – медленные, иннервирующие красные мышечные волокна, их лабильность (функциональная подвижность) 10-15 импульсов в секунду.

γ -Мотонейроны иннервируют *интрафузальные мышечные волокна*. *γ -Мотонейроны* нейроны обладают высокой лабильностью - до 200 имп/с, но их аксонам свойственна более низкая скорость проведения возбуждения - 10-40 м/с.

При изменении сократительной деятельности интрафузальных волокон под влиянием *γ -мотонейронов* изменяется активность мышечных рецепторов. Импульсы от мышечных рецепторов активируют *α -мотонейроны* этой же мышцы и тормозят *α -мотонейроны* мышцы-антагониста. Так осуществляется регуляция тонуса скелетных мышц и двигательные реакции.

Рассмотрим схему рефлекторной дуги шагательного рефлекса. В шагательном рефлексе участвуют 2 группы мышц:

- мышцы сгибатели (двуглавая мышца бедра, полусухожильная и полуперепончатая мышцы)
- разгибатели коленного сустава (четырёхглавая мышца бедра).

Сокращение четырёхглавой мышцы, расположенной на наружной поверхности бедра приводит к разгибанию голени в коленном суставе, а сокращение группы мышц сгибателей, расположенных на внутренней поверхности бедренной кости приводит к сгибанию голени в коленном суставе.

При разгибании голени импульсы от мышечных рецепторов поступают в спинной мозг и одновременно активируют *α -мотонейроны* четырёхглавой

мышцы и тормозят *α-мотонейроны мышц* антогонистов. Торможение осуществляется через вставочные нейроны.

2. Афферентные нейроны локализуются в спинальных ганглиях и ганглиях черепных нервов. Их отростки, проводят афферентные импульсы от мышечных, сухожильных и кожных рецепторов, вступают в сегменты спинного мозга и образуют синаптические контакты либо на *α-мотонейронах* (возбуждающие синапсы), либо на вставочных нейронах.

3. Вставочные нейроны регулируют активность мотонейронов. Особую популяцию вставочных нейронов представляют клетки Реншоу. Эти клетки активируются возвратными коллатеральными аксонами мотонейронов, после чего тормозят деятельность самих мотонейронов: такое торможение называется возвратным.

Возвратное (реципрокное) торможение мотонейронов посредством клеток Реншоу стабилизирует частоту потенциалов действия, возникающих в мотонейронах.

Вставочные нейроны устанавливают связь мотонейронов с чувствительными нейронами. Они также обеспечивают связь спинного мозга с ядрами ствола мозга, а через них – с корой большого мозга. Они могут быть как возбуждающими, так и тормозными, им присуща высокая лабильность - до 1000 имп/с.

4. Ассоциативные нейроны спинного мозга, устанавливают связь между сегментами и внутри сегментов спинного мозга. Ассоциативный аппарат спинного мозга участвует в координации позы, тонуса мышц, движений конечностей и туловища.

На протяжении от VIII шейного до II поясничного сегментов в боковых рогах располагается латеральное ядро, в котором содержатся нейроны симпатического отдела вегетативной нервной системы. Симпатические нейроны, контролируют потовые железы, сосуды кожи и скелетных мышц.

Парасимпатические нейроны входят в состав медиального ядра промежуточной зоны серого вещества на уровне II поясничного — III крестцового сегментов. Нейроны медиального ядра, иннервируют мочевой пузырь и толстый кишечник.

В верхушках задних рогов сосредоточены клетки с короткими, густо ветвящимися и переплетающимися отростками: они образуют студневидное вещество, которое тянется непрерывно вдоль спинного мозга. Интернейроны студневидного вещества получают афференты первичных сенсорных нейронов, проводящих сигналы от рецепторов кожи, а также от некоторых висцерорецепторов и проприоцепторов.

В основании заднего рога находятся переключающие релейные нейроны, на которых образуют синапсы аксоны, передающие болевую и температурную чувствительность. Интернейроны студневидного вещества способны тормозить передачу болевых импульсов с помощью ГАМК и энкефалина.

Вопрос_2

Проводниковые функции спинного мозга

Проводниковая функция спинного мозга осуществляется с помощью нисходящих и восходящих путей расположенных в его канатиках. Вся афферентная информация поступает в спинной мозг через задние корешки, эфферентные импульсы, обеспечивающие регуляцию функций различных органов осуществляется через передние корешки (*закон Белла-Мажанди*).

Все афферентные входы в спинной мозг несут информацию от трех групп рецепторов:

1. от рецепторов кожи: болевых, температурных, тактильных
2. от проприорецепторов: мышечных веретен, сухожилий, надкостницы и оболочек суставов

3. от рецепторов внутренних органов – висцерорецепторов

Рассмотрим функциональное назначение основных проводящих путей спинного мозга.

Передний канатик

1. Передний корково-спинномозговой (пирамидный) передает импульсы двигательных реакций от коры полушарий большого мозга к передним рогам спинного мозга.

2. Ретикулярно-спинномозговой путь проводит импульсы от ретикулярной формации головного мозга к двигательным ядрам передних рогов спинного мозга. Он располагается в центральной части переднего канатика.

3. Покрышечно-спинномозговой путь связывает подкорковые центры зрения (верхние холмики крыши среднего мозга) и слуха (нижние холмики) с двигательными ядрами передних рогов спинного мозга. Наличие такого тракта позволяет осуществлять рефлекторные защитные движения при зрительных и слуховых раздражениях.

4. Преддверно-спинномозговой путь связывает вестибулярные ядра VIII пары черепных нервов, расположенные в продолговатом мозге, с двигательными клетками передних рогов спинного мозга. Располагается на границе переднего и бокового канатика.

5. Передний спинно-таламический путь проводит импульсы тактильной чувствительности (осознание и давление). Располагается несколько впереди от ретикулярно-спинномозгового пути.

Боковой канатик

Восходящие пути.

1. Задний спинно-мозжечковый путь (пучок Флексига) проводит импульсы проприоцептивной чувствительности в мозжечок.

2. Передний спинно-мозжечковый путь (пучок Говерса), также несет

проприоцептивные импульсы в мозжечок.

3. Латеральный спинно-таламический путь проводит импульсы болевой и температурной чувствительности. Располагается в передних отделах бокового канатика.

Нисходящие пути.

1. Латеральный корково-спинномозговой (пирамидный) путь проводит двигательные импульсы от коры большого мозга к передним рогам спинного мозга.

2. Красно ядерно-спинномозговой путь является проводником импульсов автоматического (подсознательного) управления движениями и тонусом скелетных мышц идет к передним рогам спинного мозга.

Задний канатик

1. Тонкий пучок (пучок Голля) состоит из более длинных проводников, идущих от нижних отделов туловища и нижних конечностей к продолговатому мозгу.

2. Клиновидный пучок (пучок Бурдоха).

Оба пучка проприоцептивной чувствительности (суставно-мышечное чувство), которые несут в кору полушарий большого мозга информацию о положении тела и его частей в пространстве.

Вопрос_3

Рефлексы спинного мозга

Рефлекторную функцию спинного мозга обеспечивают сенсорные нейроны, интернейроны серого вещества, образующие ядра спинного мозга, и мотонейроны.

Переработка сенсорной чувствительности разной модальности происходит следующим образом:

– в нейронах студневидного вещества и собственного ядра заднего рога осуществляется проведение тактильной, болевой и температурной чувствительности.

– нейроны промежуточной зоны осуществляют переработку висцеральной чувствительности.

– ядро кларка (грудное), нейроны которого образуют спинно-мозжечковый путь, осуществляет передачу проприоцептивной чувствительности от спинного мозга к ядрам мозжечка.

Центры *симпатического отдела* вегетативной нервной системы локализованы в следующих сегментах:

- центр зрачкового рефлекса - CVIII-ThII,
- регуляции деятельности сердца - ThI-ThV,
- регуляции функции почек - ThV-LIV.

Парасимпатическую иннервацию получают из спинного мозга (сегменты II-IV) все органы малого таза: мочевого пузыря, часть толстой кишки и половые органы.

Все рефлексы спинного мозга осуществляются благодаря упорядоченному распространению возбуждения от рецепторов афферентных нейронов до рабочего органа по рефлекторной дуге. Спинномозговые рефлексы являются врожденными, их осуществление не требует осознания, однако они включаются в более сложные программы поведения.

Среди рефлексов спинного мозга можно выделить:

- сухожильные рефлексы
- рефлекс растяжения мышцы
- рефлекторная регуляция напряжения мышц
- сгибательные (разгибательные) рефлексы
- спинальные вегетативные рефлексы

Сухожильные рефлексы вызываются легким ударом по сухожилию и проявляются резким сокращением мышцы, прикрепленной к этому сухожилию. Сенсорным стимулом для возникновения сухожильных рефлексов служит *растяжение мышцы* в момент удара по ее сухожилию (рисунок 1).

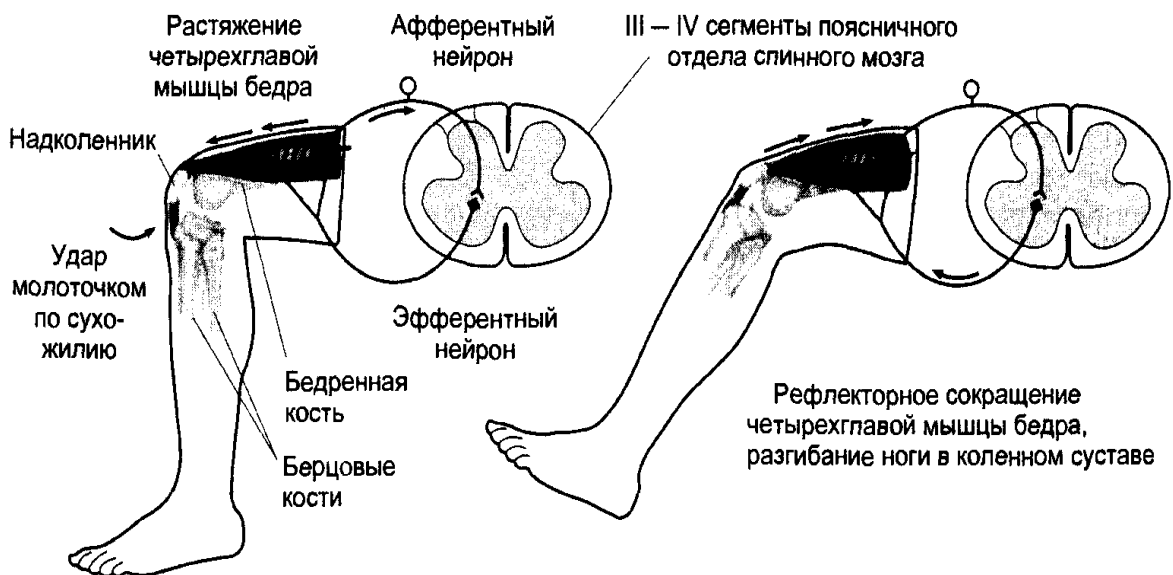


Рисунок 1 - Схема воспроизведения коленного рефлекса.

Сухожильные рефлексы можно вызвать в разных мышцах, например:

- трехглавой мышце голени (ахиллов рефлекс),
- четырехглавой мышцы бедра
- двуглавой и трехглавой мышцах плеча

Удар молоточком по сухожилию четырехглавой мышцы бедра вызывает ее растяжение и ответное рефлекторное сокращение, приводящее к

разгибанию ноги в коленном суставе. Рефлекторная дуга коленного рефлекса моносинаптическая, она замыкается на уровне III-IV сегментов поясничного отдела спинного мозга.

При растяжении мышцы в момент удара по ее сухожилию возбуждаются проприоцепторы и интрафузальные мышечные волокна. При ударе они растягиваются, и тогда в проприоцепторах возникает рецепторный потенциал, а вслед за ним и потенциал действия. Возникающие потенциалы действия поступают к нейронам, расположенным в спинальном ганглии, а затем в составе заднего корешка афферентные волокна этого нейрона входят в спинной мозг и оканчиваются на мотонейронах передних рогов спинного мозга, замыкая моносинаптическую рефлекторную дугу.

Рефлексы растяжения являются физиологическим механизмом регуляции длины мышц. При быстром растяжении мышцы возникает фазический рефлекс в виде быстрого ответного сокращения мышцы, а при медленном растяжении — тонический рефлекс, направленный на сохранение неизменной длины мышцы при постоянном растяжении. Тонические рефлексы необходимы для поддержания мышечного тонуса.

Определение_2

Мышечный тонус – это сопротивление мышц растяжению какой-либо внешней силой.

Мышечный тонус сохраняет положение тела и обеспечивает сопротивление силе тяжести, растягивающей мышцы-разгибатели. Изменения тонуса мышц позволяют удерживать и перемещать груз, сохранять равновесие при отклонениях туловища вперед, назад или в сторону.

3. *Рефлекторная регуляция напряжения мышц.* Сокращения мышцы сопряжены с изменениями не только ее длины, но и напряжения. Рефлекторная регуляция напряжения осуществляется с помощью сухожильных рецепторов Гольджи — это немиелинизированные окончания афферентного нейрона, которые расположены в области прикрепления сухожильных волокон к мышечным интрафузальным волокнам. Интрафузальные волокна — датчики длины. При нарастании напряжения в мышце волокна сухожилий натягиваются тем сильнее, чем большим становится напряжение. Пропорционально ему деформируются сухожильные рецепторы, и возрастает частота потенциалов действия в афферентном нейроне.

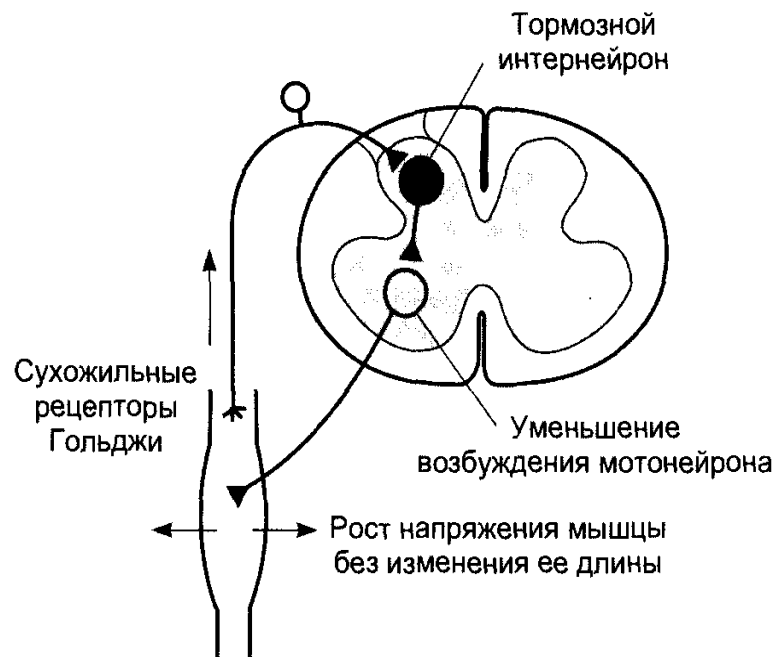


Рисунок 2 - Схема рефлекторная регуляция напряжения мышц

Окончания афферентных нейронов образуют синапсы с тормозными интернейронами (клетки Реншоу) (рисунок 2). Тормозные интернейроны, контролируемые возбуждение мотонейронов, а значит, и силу мышечных сокращений, получают афферентную информацию не только от сухожильных рецепторов Гольджи, но также от суставных рецепторов, высокочувствительных кожных рецепторов и нисходящих двигательных путей.

Сгибательный рефлекс состоит в немедленном сгибании руки или ноги в ответ на болевое раздражение кожи (укол, ожог). Он обеспечивает удаление конечности от источника болевой стимуляции и по своему биологическому значению относится к категории защитных рефлексов. Сгибание конечности происходит одновременно в нескольких суставах, причем выраженность сгибательного рефлекса пропорциональна силе раздражителя. Чем сильнее оказывается действующий стимул, тем больше мышц вовлекается в ответную реакцию.

Рефлекторные дуги всех сгибательных рефлексов являются полисинаптическими: разветвленные окончания сенсорных нейронов проецируются на возбуждающие и тормозные интернейроны, которые действуют на мотонейроны для мышц сгибателей и разгибателей.

Мотонейроны мышц-сгибателей подвергаются действию возбуждающих интернейронов, что приводит к сокращению этих мышц.

Одновременно тормозные интернейроны реципрокно угнетают активность мотонейронов, контролирующих мышцы-разгибатели.

Механизм сгибательного рефлекса включает взаимодействие возбуждающих и тормозных интернейронов спинного мозга с мотонейронами мышц-синергистов и антагонистов.

Рефлекторное сгибание конечности часто сопровождается одновременным разгибанием контралатеральной конечности, которое тоже происходит рефлекторно (перекрестный разгибательный рефлекс). Так, например, человек, наступивший босой ногой на колючку, рефлекторно сгибает эту ногу, что приводит к росту нагрузки на опорную ногу. Немедленное рефлекторное повышение тонуса мышц-разгибателей на опорной ноге позволяет справиться с возросшей нагрузкой на нее.

В зависимости от локализации рецепторов и расположения рабочих органов различают следующие *спинальные вегетативные рефлексы*:

- висцеро-висцеральные,
- висцеродермальные
- дермовисцеральные рефлексы.

Рефлекторные дуги всех этих рефлексов относятся к полисинаптическим. Рефлекторные реакции происходят при участии гладких мышц внутренних органов и кровеносных сосудов, сердечной мышцы и желез внешней секреции, которые реагируют на раздражение интерорецепторов или рецепторов кожи.

Висцеро-висцеральные рефлексы вызываются раздражением рецепторов внутренних органов и проявляются изменениями деятельности этих же (например, кардиокардиальные, кишечно-кишечные, эвакуаторные рефлексы) или других внутренних органов.

Висцеродермальные рефлексы возникают при раздражении рецепторов внутренних органов и проявляются изменениями кожной чувствительности, потоотделения и электрического сопротивления кожи. Изменения кожной чувствительности или так называемая отраженная боль в ограниченных участках кожи, получивших название зон Захарьина-Геда, указывают на поражение определенного органа и имеют диагностическое значение.

Дермо-висцеральные рефлексы вызываются раздражением рецепторов кожи, после чего происходит рефлекторное изменение деятельности определенных внутренних органов, и возникают реакции сосудов. На сегментарном принципе организации рефлекторных дуг дермовисцеральных рефлексов основано терапевтическое действие согревания, охлаждения или иного раздражения кожи (точечный массаж, акупунктура, горчичники).