

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СПИННОГО МОЗГА

1. Структурно-функциональная организация
2. Проводниковые функции спинного мозга
3. Рефлекторная функция спинного мозга

Вопрос_1

Структурно-функциональная организация

Спинальный мозг (*medulla spinalis*) - это длинный, цилиндрический тяж, располагается в позвоночном канале. Вверху он переходит в продолговатый мозг, внизу оканчивается мозговым конусом. Верхушка мозгового конуса спинного мозга продолжается в тонкую концевую (терминальную) нить. Длина спинного мозга у взрослого человека в среднем 43 см (у мужчин – 45 см, у женщин – 41-42 см), масса – около 34-38 г, что составляет примерно 2 % от массы головного мозга.

Внешнее строение спинного мозга рассматривают относительно передней и задней поверхности.

На передней поверхности спинного мозга видна передняя срединная щель. На задней поверхности задняя срединная борозда. Они являются границами, разделяющими спинной мозг на две симметричные половины.

На передней поверхности в сторону от передней щели отходит передняя латеральная борозда. Она служит местом выхода передних (двигательных) корешков спинномозговых нервов и границей на поверхности спинного мозга между передним и боковым канатиками.

На задней поверхности спинного мозга находится задняя латеральная борозда – место проникновения в спинной мозг задних (чувствительных) корешков спинномозговых нервов. Эта борозда служит границей между боковым и задним канатиками.

Передний корешок состоит из отростков двигательных (моторных) нервных клеток, расположенных в переднем роге серого вещества спинного мозга. Задний корешок чувствительный, представлен совокупностью проникающих в спинной мозг центральных отростков нейронов, тела которых образуют спинномозговой узел (*ganglion spinale*). Спинномозговой узел расположен вне спинного мозга у места соединения заднего корешка с передним. Передний и задний корешки соединяются и образуют спинномозговой нерв (*nervus spinalis*).

Структура спинного мозга состоит из нервных клеток и волокна белого вещества. В сером веществе спинного мозга имеется центральный канал, заполненный спинномозговой жидкостью (ликвором). Верхний конец

спинномозгового канала сообщается с IV желудочком головного мозга, а нижний образует слепо заканчивающийся концевой желудочек (желудочек Краузе). Стенки центрального канала спинного мозга выстланы эпендимой. На поверхности, обращенной в полость центрального канала, имеются многочисленные реснички, которые способствуют току спинномозговой жидкости в канале. Поверхность спинного мозга сегментирована, по всей длине от него отходит 31-33 пары спинномозговых нервов.

Определение

Нервный сегмент – это поперечный отрезок спинного мозга и связанных с ним правого и левого спинномозговых нервов.

В спинном мозге выделяют 31–33 сегмента: 8 шейных, 12 грудных, 5 поясничных, 5 крестцовых, 1-3 копчиковых сегмента. Обозначают сегменты начальными буквами, указывающими на область (часть) спинного мозга, и цифрами, соответствующими порядковому номеру сегмента:

- шейные сегменты (*segmenta cervicalia*) – CI–CVIII,
- грудные сегменты (*segmenta thoracica*) – ThI–ThXII,
- поясничные сегменты (*segmenta lumbalia*) – LI–LV,
- крестцовые сегменты (*segmenta sacralia*) – SI–SV,
- копчиковые сегменты (*segmenta coccygeal*) – CoI–CoIII.

В шейном и пояснично-крестцовом отделах спинной мозг имеет два утолщения – шейное и пояснично-крестцовое утолщение. Образование утолщений объясняется тем, что из шейного и пояснично-крестцового отделов спинного мозга осуществляется иннервация верхних и нижних конечностей. В этих отделах в спинном мозге имеется больше, чем в других отделах, количество нервных клеток и волокон.

Спинномозговые нервы связывают сегменты спинного мозга с разными частями тела. Вместе сегменты, СМН и соответствующие им части тела образуют структуру, которая называется дерматом.

Определение

Дерматом – это области тела, которую иннервирует пара спинномозговых нервов

Каждый спинномозговой нерв является смешанным нервом, который, включает задний чувствительный корешок, образует спинномозговой узел, и соединяется с передним – двигательным корешком. Каждый спинномозговой нерв делится на четыре ветви:

- спинную
- брюшную
- соединительную
- оболочечную

Спинная ветвь направляется к спинной стороне тела и иннервирует глубокие мышцы спины и соответствующие участки кожи. Брюшная ветвь (более толстая) расположена спереди, она иннервирует мышцы и кожу брюшной и боковых поверхностей тела, а также конечности. Соединительнотканная ветвь связывает спинной мозг с симпатическими узлами (ганглиями) от I грудного до II поясничного нерва. Тонкая оболочечная ветвь возвращается к мозгу через межпозвоночное отверстие и иннервирует оболочки спинного мозга и стенку позвоночного канала. Подходя к иннервируемым органам, эти ветви разветвляются и заканчиваются терминальными волокнами в воспринимающих – рецепторных, или рабочих – эффекторных органах. Таким образом, каждый спинномозговой нерв является смешанным, поскольку в его состав входит и чувствительное и двигательное волокно.

Внутренне строение спинного мозга рассматривают относительно распределения белого и серого вещества.

Серое вещество (*substantia grisea*) на протяжении спинного мозга справа и слева от центрального канала образует симметричные столбы. В каждом столбе серого вещества различают переднюю его часть – передний столб, и заднюю часть – задний столб. На уровне нижнего шейного, всех грудных и двух верхних поясничных сегментов спинного мозга серое вещество с каждой стороны образует боковое выпячивание – боковой (вегетативный) столб. В других отделах спинного мозга (выше VIII шейного и ниже II поясничного сегментов) боковые столбы отсутствуют.

На поперечном срезе спинного мозга столбы серого вещества с каждой стороны имеют вид рогов. Выделяют более широкий передний рог, и узкий задний рог. В передних рогах расположены двигательные (эфферентные) нейроны. Задние рога спинного мозга представлены преимущественно мелкими клетками.

Серое вещество задних рогов спинного мозга неоднородно. Кпереди выделяется студенистое вещество (*substantia gelatinosa*), состоящее из мелких нервных клеток. Отростки нервных клеток студенистого вещества осуществляют связь с соседними сегментами и представлены глиальными клетками. Клетки всех ядер задних рогов серого вещества – это вставочные нейроны. Нейриты, отходящие от нервных клеток задних рогов, направляются в белом веществе спинного мозга к головному мозгу.

Промежуточная зона серого вещества спинного мозга расположена между передним и задним рогами. Здесь на протяжении находится грудное ядро (*nucleus thoracicus*), состоящее из крупных нервных клеток. Это ядро тянется вдоль всего заднего столба серого вещества в виде клеточного тяжа (ядро Кларка). В боковых рогах находятся центры симпатической части вегетативной нервной системы.

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.

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, а также проведении сенсорных сигналов от рецепторов кожи, мышц, внутренних органов к головному мозгу.

Целесообразно все нейроны классифицировать на групп по их функциональному назначению

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

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

Различают *α -мотонейроны* и *γ -мотонейроны*. Они участвуют в образовании нервно-мышечного веретена. Нервно-мышечное веретено включает две группы волокон:

– волокна, расположенные в центре называются *интрафузальные* волокна, они отвечают на раздражение изменением длины мышцы.

– волокна, расположенные на периферии называются *экстрафузальными* волокнами, отвечают на раздражение изменением напряжения и мышечного тонуса.

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.

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

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. 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 висцеро- и проприоцепторов.

Вопрос_2

Проводниковые функции спинного мозга

Проводниковая функция спинного мозга осуществляется с помощью нисходящих и восходящих путей расположенных в его канатиках. Канатики спинного мозга образованы нервными волокнами (белым веществом). Вся афферентная информация поступает в спинной мозг через задние корешки, эфферентные импульсы, обеспечивающие регуляцию функций 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 (осязание 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

Рефлекторная функция 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 спинномозжечковый 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 SII-SIV) 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).

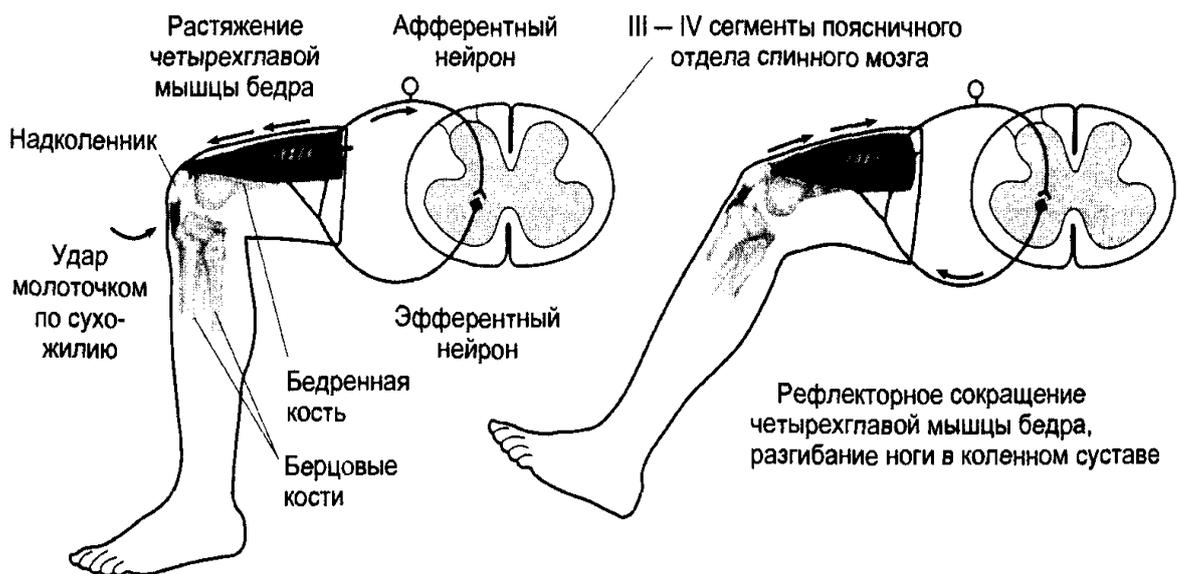


Рисунок 1 - Схема воспроизведения коленного рефлекса

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

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.

Окончания афферентных нейронов образуют синапсы с тормозными интернейронами (клетки Реншоу) (рисунок 2). Тормозные интернейроны, контролирующие 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.

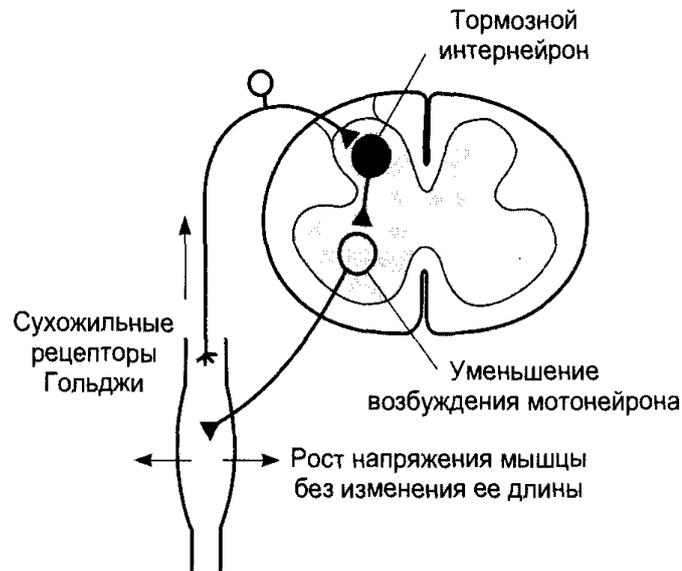


Рисунок 2 - Схема рефлекторная регуляция напряжения мышц

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 реципрочно 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 рефлексy.

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 рефлексy вызываються раздражением рецепторов внутренних органов и проявляются изменениями деятельности этих же (например, кардиокардиальные, кишечно-кишечные, эвакуаторные рефлексy) или других внутренних органов.

Висцеродермальные рефлексy 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 рефлексy вызываються 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).

Литература

1. Смирнов, В.М. Физиология сенсорных систем и высшая нервная деятельность / В.М. Смирнов, С.М. Будылина. - М.: Медицина, 2003. - 304 с.
2. Шульговский, В. В. Основы нейрофизиологии: Учебное пособие для студентов вузов. - М.: Аспект Пресс, 2000. - с. 277.
3. Батуев, А.С. Физиология поведения. Нейрофизиологические закономерности / А.С. Батуев. - Л.: Наука, 1986. - 340 с.
4. Александров, Ю.И. Психофизиология / Ю.И.Александров. - М.: Медицина, 2001. - 230 с.
5. Данилова, Н.Н. Физиология высшей нервной деятельности / Н. Н. Данилова, А.Л. Крылова. - Ростов н/Д: Феникс, 1999. – 480 с.