

# Клиническая анатомия позвоночника и спинного мозга

А. М. Овечкин

Первый московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова

Clinical anatomy of spine and spinal cord

A. M. Ovechkin

I. M. Sechenov First Moscow State Medical University

Уважаемые коллеги, предлагаемый вам материал в свое время был подготовлен автором для главы руководства по нейроаксиальной анестезии, которое, в силу ряда причин, не было завершено и не вышло в свет. Мы полагаем, что представленная ниже информация будет интересна не только начинающим анестезиологам, но и опытным специалистам, поскольку она отражает наиболее современные представления об анатомии позвоночника, эпидурального и субарахноидального пространств с точки зрения анестезиолога.

## Анатомия позвоночника

Как известно, позвоночный столб состоит из 7 шейных, 12 грудных и 5 поясничных позвонков с прилегающими к ним крестцом и копчиком. Он имеет несколько клинически значимых изгибов. Наибольшие изгибы спереди (лордоз) расположены на уровнях  $C_5$  и  $L_{4-5}$ , кзади – на уровнях  $Th_5$  и  $S_5$ . Эти анатомические особенности в совокупности с баричностью местных анестетиков играют важную роль в сегментарном распределении уровня спинального блока.

Особенности отдельных позвонков оказывают влияние на технику, в первую очередь, эпидуральной пункции. Остистые отростки отходят под различными углами на разных уровнях

позвоночника. В шейном и поясничном отделах они располагаются почти горизонтально по отношению к пластине, что облегчает срединный доступ при перпендикулярном расположении иглы к оси позвоночника. На средне-грудном уровне ( $Th_{5-9}$ ) остистые отростки отходят под достаточно острыми углами, что делает предпочтительным парамедиальный доступ. Отростки верхних грудных ( $Th_{1-4}$ ) и нижних грудных ( $Th_{10-12}$ ) позвонков ориентированы промежуточно по сравнению с двумя вышеуказанными особенностями. На этих уровнях ни один из доступов не имеет преимуществ перед другим.

Доступ к эпидуральному (ЭП) и субарахноидальному пространству (СП) осуществляется между пластинами (интерламинарно). Верхние и нижние суставные отростки формируют фасеточные суставы, которые играют важную роль в правильном размещении пациента перед пункцией ЭП. Правильное расположение пациента перед пункцией ЭП определяется ориентацией фасеточных суставов. Поскольку фасеточные суставы поясничных позвонков ориентированы в сагиттальной плоскости и обеспечивают сгибание вперед-назад, то максимальное сгибание позвоночника (поза эмбриона) увеличивает интерламинарные пространства между поясничными позвонками.

Фасеточные суставы грудных позвонков ориентированы горизонтально и обеспечивают ротационные движения позвоночника. Следовательно, избыточное сгибание позвоночника не дает дополнительных преимуществ при пункции ЭП на грудном уровне.

### Анатомические костные ориентиры

Идентификация необходимого межпозвонкового промежутка является залогом успеха эпидуральной и спинальной анестезии, а также необходимым условием безопасности пациента.

В клинических условиях выбор уровня пункции осуществляется анестезиологом посредством пальпации с целью выявления определенных костных ориентиров. Известно, что 7-й шейный позвонок имеет наиболее выраженный остистый отросток. В то же время необходимо учитывать, что у пациентов со сколиозом наиболее выступающим может быть остистый отросток 1-го грудного позвонка (примерно у  $\frac{1}{3}$  пациентов).

Линия, соединяющая нижние углы лопаток, проходит через остистый отросток 7-го грудного позвонка, а линия, соединяющая гребни подвздошных костей (линия Тюффье), проходит через 4-й поясничный позвонок ( $L_4$ ).

Идентификация необходимого межпозвонкового промежутка при помощи костных ориентиров далеко не всегда является корректной. Известны результаты исследования Broadbent и соавт. (2000), в котором один из анестезиологов при помощи маркера отмечал определенный межпозвонковый промежуток на поясничном уровне и пытался идентифицировать его уровень в положении больного сидя, второй совершал ту же попытку в положении пациента на боку. Затем над сделанной отметкой прикрепляли контрастный маркер и проводили магнитно-резонансную томографию. Чаще всего истинный уровень, на котором была сделана отметка, находился от одного до четырех сегментов ниже, по сравнению с теми значениями, которые были указаны анестезиологами, участвовавшими в исследовании. Правильно идентифицировать межпозвонковый промежуток удалось лишь в 29% случаев. Точность определения не зависела от положения пациента, но ухудшалась у пациентов с избыточным весом. Кстати говоря, спинной мозг заканчивался на уровне  $L_1$  только у 19% пациентов (у остальных на уровне  $L_2$ ), что создавало угрозу его повреждения при ошибочном выборе

высокого уровня пункции. Что затрудняет правильный выбор межпозвонкового промежутка?

Есть данные о том, что линия Тюффье соответствует уровню  $L_4$  лишь у 35% людей (Reynolds F., 2000). Для остальных 65% эта линия расположена на уровне от  $L_{3-4}$  до  $L_5-S_1$ .

Необходимо отметить, что ошибка на 1–2 сегмента при выборе уровня пункции эпидурального пространства, как правило, не сказывается на эффективности эпидуральной анестезии и анальгезии.

### Связки позвоночника

По передней поверхности тел позвонков от черепа до крестца проходит передняя продольная связка, которая жестко фиксирована к межпозвонковым дискам и краям тел позвонков. Задняя продольная связка соединяет задние поверхности тел позвонков и образует переднюю стенку позвоночного канала.

Пластины позвонков соединяются желтой связкой, а задние остистые отростки – межостистыми связками. По наружной поверхности остистых отростков  $C_7-S_1$  проходит надостистая связка. Ножки позвонков не соединены связками, в результате образуются межпозвонковые отверстия, через которые выходят спинномозговые нервы.

Желтая связка состоит из двух листков, сращенных по средней линии под острым углом. В связи с этим она как бы натянута в виде «тента». В шейном и грудном отделах желтая связка может быть не сращена по средней линии, что вызывает проблемы при идентификации ЭП по тесту потери сопротивления. Желтая связка тоньше по средней линии (2–3 мм) и толще по краям (5–6 мм). В целом она имеет наибольшую толщину и плотность на поясничном (5–6 мм) и грудном уровнях (3–6 мм), и наименьшую в шейном отделе (1,5–3 мм). Вместе с дужками позвонков желтая связка формирует заднюю стенку позвоночного канала.

При проведении иглы срединным доступом она должна пройти сквозь надостистые и межостистые связки, а затем сквозь желтую связку. При парамедиальном доступе игла минует надостистую и межостистую связки, сразу достигая желтой связки. Желтая связка плотнее других (на 80% состоит из эластических волокон), поэтому возрастание сопротивления при прохождении ее иглой, с последующей его потерей, как известно, используют для идентификации ЭП. Расстояние между желтой связкой и твердой мозговой оболочкой

в поясничном отделе не превышает 5–6 мм и зависит от таких факторов, как артериальное и венозное давление, давление в спинномозговом канале, давление в брюшной полости (беременность, абдоминальный компартмент-синдром и т. д.) и полости грудной клетки (ИВА).

С возрастом желтая связка уплотняется (осифицируется), что затрудняет проведение через нее иглы. Данный процесс наиболее выражен на уровне нижних грудных сегментов.

### Оболочки спинного мозга

Спинномозговой канал имеет три соединительнотканых оболочки, защищающих спинной мозг: твердую мозговую оболочку, паутинную (арахноидальную) оболочку и мягкую мозговую оболочку. Эти оболочки участвуют в формировании трех пространств: эпидурального, субдурального и субарахноидального. Непосредственно спинной мозг (СМ) и корешки укрывает хорошо васкуляризованная мягкая мозговая оболочка, субарахноидальное пространство ограничено двумя прилегающими друг к другу оболочками – паутинной и твердой мозговой.

Все три оболочки СМ продолжают и в латеральном направлении, формируя соединительно-тканное покрытие спинномозговых корешков и смешанных спинномозговых нервов (эндоневрий, периневрий и эпиневрив). Субарахноидальное пространство тоже на коротком протяжении распространяется вдоль корешков и спинномозговых нервов, заканчиваясь на уровне межпозвоночных отверстий. В отдельных случаях манжеты, образованные твердой мозговой оболочкой, удлиняются на сантиметр и более (в редких случаях на 6–7 см) вдоль смешанных спинномозговых нервов и значительно выходят за пределы межпозвоночных отверстий. Этот факт необходимо учитывать при выполнении блокады плечевого сплетения из надключичных доступов, поскольку в этих случаях даже при правильной ориентации иглы возможно интратекальное введение местного анестетика с развитием тотального спинального блока (подробнее эта ситуация описана в нашем журнале № 4, 2007 г., стр. 54–56).

Твердая мозговая оболочка (ТМО) представляет собой листок соединительной ткани, состоящей из коллагеновых волокон, ориентированных как поперечно, так и продольно, а также некоторого количества эластических волокон, ориентированных в продольном направлении.

На протяжении длительного времени считали, что волокна ТМО имеют преимущественно продольную ориентацию. В связи с этим рекомендовали при пункции субарахноидального пространства ориентировать срез спинальной иглы с режущим кончиком вертикально, чтобы он не пересекал волокна, а как бы их раздвигал. Позднее при помощи электронной микроскопии выявили достаточно беспорядочное расположение волокон ТМО – продольное, поперечное и частично циркулярное. Толщина ТМО переменна (от 0,5 до 2 мм) и может отличаться на разных уровнях у одного и того же пациента. Чем толще ТМО, тем выше ее способность к ретракции (стягиванию) дефекта.

ТМО, наиболее толстая из всех оболочек СМ, на протяжении длительного времени рассматривалась как наиболее значимый барьер между ЭП и подлежащими тканями. В действительности это не так. Экспериментальные исследования с морфином и альфентанилом, выполненные на животных, показали, что ТМО является наиболее проницаемой оболочкой СМ (Bernards C., Hill H., 1990).

Ложное умозаключение о ведущей барьерной функции ТМО на пути диффузии привело к неправильной трактовке ее роли в генезе постпункционной головной боли (ППГБ). Если предположить, что ППГБ обусловлена подтеканием спинномозговой жидкости (СМЖ) через пункционный дефект в оболочках СМ, мы должны сделать правильный вывод о том, какая из них ответственна за эту утечку. Поскольку СМЖ находится под паутинной оболочкой, то именно дефект этой оболочки, а не ТМО играет роль в механизмах ППГБ. В настоящее время нет доказательных данных, свидетельствующих о том, что именно дефект оболочек СМ, а значит его форма и размер, а также скорость потерь СМЖ (а значит, размер и форма кончика иглы) оказывают влияние на развитие ППГБ.

Это вовсе не означает, что некорректными являются клинические наблюдения, свидетельствующие, что использование тонких игл, игл типа «pencil-point», а также вертикальная ориентация среза игл типа Quincke снижают частоту ППГБ. Однако некорректны объяснения данного эффекта, в частности, утверждения, что при вертикальной ориентации среза игла не пересекает волокна ТМО, а «раздвигает» их. Данные заявления полностью игнорируют современные представления об анатомии ТМО, состоящей из беспорядочно расположенных волокон, а не ориентированных

вертикально. В то же время клетки паутинной оболочки имеют цефало-каудальную ориентацию (см. ниже). В связи с этим при продольной ориентации среза игла оставляет в ней узкое щелевидное отверстие, повреждая меньшее количество клеток, чем при перпендикулярной ориентации. Однако это только предположение, требующее серьезных экспериментальных подтверждений.

Паутинная оболочка. Паутинная оболочка состоит из расположенных в одной плоскости и перекрывающих друг друга 6–8 слоев плоских эпителиально-подобных клеток, плотно соединенных между собой и имеющих продольную ориентацию. Паутинная оболочка является не просто пассивным резервуаром для СМЖ, она активно участвует в транспорте различных веществ. Не так давно было установлено, что в паутинной оболочке вырабатываются метаболические энзимы, которые могут оказывать воздействие на метаболизм отдельных веществ (например, адреналина) и нейротрансмиттеры (ацетилхолин), имеющие значение для реализации механизмов спинальной анестезии. Активный транспорт веществ через паутинную оболочку осуществляется в области манжет спинномозговых корешков. Здесь происходит одностороннее перемещение веществ из СМЖ в ЭП, что увеличивает клиренс введенных в СП местных анестетиков. Пластинчатое строение паутинной оболочки способствует ее легкому отделению от ТМО при спинальной пункции.

Тонкая паутинная оболочка, на самом деле, обеспечивает более 90% резистентности на пути диффузии препаратов из ЭП в СМЖ. Дело в том, что дистанция между беспорядочно ориентированными коллагеновыми волокнами ТМО достаточно велика для того, чтобы создавать барьер на пути молекул лекарственных средств. Клеточная архитектура паутинной оболочки, напротив, обеспечивает наибольшее препятствие диффузии и объясняет тот факт, что СМЖ находится в субарахноидальном пространстве, но отсутствует в субдуральном.

Осознание роли паутинной оболочки, как основного барьера на пути диффузии из ЭП в СМЖ, позволяет по-новому взглянуть на зависимость диффузионной способности препаратов от их способности растворяться в жирах. Традиционно принято считать, что более липофильные препараты характеризуются большей диффузионной способностью. На этом основаны рекомендации предпочтительного использования для ЭА липофильных опиоидов (фентанил),

обеспечивающих быстро развивающуюся сегментарную аналгезию. В то же время в экспериментальных исследованиях установлено, что проницаемость гидрофильного морфина через оболочки спинного мозга существенно не отличается от таковой фентанила (Bernards C., Hill H., 1992). Установлено, что спустя 60 мин после эпидуральной инъекции 5 мг морфина на уровне L<sub>3-4</sub> определяются в ликворе уже на уровне шейных сегментов (Angst M. et al., 2000).

Объяснением этому является тот факт, что диффузия из эпидурального в субарахноидальное пространство осуществляется непосредственно сквозь клетки паутинной оболочки, поскольку межклеточные связи настолько плотны, что исключают возможность проникновения молекул между клетками. В процессе диффузии препарат должен проникнуть в клетку через двойную липидную мембрану, а затем, еще раз преодолев мембрану, попасть в СП. Паутинная оболочка состоит из 6–8 слоев клеток. Таким образом, в процессе диффузии вышеуказанный процесс повторяется 12–16 раз. Препараты с высокой жирорастворимостью термодинамически более стабильны в двойном липидном слое, чем в водном внутри- или внеклеточном пространстве, в связи с этим, им «труднее» покинуть мембрану клетки и переместиться во внеклеточное пространство. Таким образом, замедляется их диффузия сквозь паутинную оболочку. Препараты с плохой растворимостью в жирах имеют противоположную проблему – они стабильны в водной среде, но с трудом проникают в липидную мембрану, что тоже замедляет их диффузию.

Препараты, с промежуточной способностью растворяться в жирах, в наименьшей степени подвержены вышеуказанным водно-липидным взаимодействиям.

В то же время способность проникать через оболочки СМ не является единственным фактором, определяющим фармакокинетику препаратов, введенных в ЭП. Другим важным фактором (который зачастую игнорируется) является объем их поглощения (секвестрации) жировой клетчаткой ЭП. В частности, установлено, что длительность пребывания опиоидов в ЭП линейно зависит от их способности растворяться в жирах, поскольку эта способность определяет объем секвестрации препарата в жировой клетчатке. За счет этого затрудняется проникновение липофильных опиоидов (фентанил, суфентанил) к СМ. Имеются веские основания полагать, что при непрерывной эпидуральной инфузии этих препаратов

анальгетический эффект достигается преимущественно за счет их абсорбции в кровоток и супрасегментарного (центрального) действия. В отличие от этого, при болюсном введении анальгетический эффект фентанила обусловлен в основном его действием на сегментарном уровне.

Таким образом, распространенное представление о том, что препараты с большей способностью растворяться в жирах после эпидурального введения быстрее и проще проникают в СМ, является не совсем корректным.

### Эпидуральное пространство

ЭП является частью спинномозгового канала между его наружной стенкой и ТМО, простирается от большого затылочного отверстия до крестцово-копчиковой связки. ТМО прикрепляется к большому затылочному отверстию, а также к 1-му и 2-му шейным позвонкам, в связи с этим растворы, введенные в ЭП, не могут подняться выше этого уровня. ЭП расположено кпереди от пластины, с боков ограничено ножками, а сзади телом позвонка.

ЭП содержит:

- а) жировую клетчатку,
- б) спинномозговые нервы, выходящие из спинномозгового канала через межпозвонковые отверстия,
- в) кровеносные сосуды, питающие позвонки и спинной мозг.

Сосуды ЭП в основном представлены эпидуральными венами, формирующими мощные венозные сплетения с преимущественно продольным расположением сосудов в боковых частях ЭП и множеством анастомотических веточек. ЭП имеет минимальное наполнение в шейном и грудном отделах позвоночника, максимальное – в поясничном отделе, где эпидуральные вены имеют максимальный диаметр.

Описания анатомии ЭП в большинстве руководств по регионарной анестезии представляют жировую клетчатку в виде однородного слоя, прилегающего к ТМО и заполняющего ЭП. Вены ЭП обычно изображают в виде сплошной сети (венозное сплетение Батсона), прилегающей к СМ на всем его протяжении. Хотя еще в 1982 г. были опубликованы данные исследований, выполненных с использованием КТ и контрастирования вен ЭП (Meijenghorst G., 1982). Согласно этим данным, эпидуральные вены располагаются преимущественно в переднем и отчасти в боковых отделах ЭП. Позднее эти сведения были

подтверждены в работах Hogan Q. (1991), показавшего, кроме того, что жировая клетчатка в ЭП скомпонована в виде отдельных «пакетов», располагающихся в основном в заднем и боковых отделах ЭП, т. е. не имеет характера сплошного слоя.

Передне-задний размер ЭП прогрессивно сужается с поясничного уровня (5–6 мм) к грудному (3–4 мм) и становится минимальным на уровне С<sub>3-6</sub>.

В обычных условиях давление в ЭП имеет отрицательное значение. Наиболее низким оно является в шейном и грудном отделах. Увеличение давления в грудной клетке при кашле, пробе Вальсальвы приводит к повышению давления в ЭП. Введение жидкости в ЭП повышает давление в нем, величина этого повышения зависит от скорости и объема введенного раствора. Параллельно увеличивается давление и в СП.

Давление в ЭП становится положительным в поздних сроках беременности за счет повышения внутрибрюшного давления (через межпозвонковые отверстия передается в ЭП) и расширения эпидуральных вен. Уменьшение объема ЭП способствует более широкому распространению местного анестетика.

Непременным является факт, что препарат, введенный в ЭП, попадает в СМЖ и СМ. Менее изученным является вопрос – каким образом он туда попадает? В ряде руководств по регионарной анестезии описывается латеральное распространение препаратов, введенных в ЭП с последующей их диффузией через манжеты спинномозговых корешков в СМЖ (Cousins M., Bridenbaugh P., 1998). Данная концепция логически обосновывается несколькими фактами. Во-первых, в манжетах спинномозговых корешков имеются паутинные грануляции (ворсинки), аналогичные таковым в головном мозге. Через эти ворсинки осуществляется секреция СМЖ в субарахноидальное пространство. Во-вторых, еще в конце XIX в. в экспериментальных исследованиях Key и Retzius было установлено, что вещества, введенные в СП животных, позднее обнаруживались в ЭП. В-третьих, было выявлено, что эритроциты удаляются из СМЖ путем пассажа через те же паутинные ворсинки. Эти три факта логически были объединены, и сделан вывод, что молекулы лекарственных веществ, размер которых меньше, чем размер эритроцитов, также могут проникать из ЭП в субарахноидальное через паутинные ворсинки. Этот вывод, конечно, привлекателен, но он является ложным, построен на умозрительных заключениях и не подкреплен

ни одним экспериментальным или клиническим исследованием.

Между тем при помощи экспериментальных нейрофизиологических исследований установлено, что транспорт любых веществ через паутинные ворсинки осуществляется путем микропиноцитоза и только в одном направлении – из СМЖ наружу (Yamashita T. et al., 1988 и др.). Если бы это было не так, то любая молекула из венозного кровотока (большинство ворсинок омывается венозной кровью) могла бы легко проникнуть в СМЖ, обходя, таким образом, гематоэнцефалический барьер.

Существует еще одна распространенная теория, объясняющая проникновение препаратов из ЭП в СМ. Согласно этой теории, препараты с высокой способностью растворяться в жирах (а точнее, неионизированные формы их молекул) диффундируют через стенку корешковой артерии, проходящей в ЭП, и с током крови попадают в СМ. Данный механизм также не имеет никаких подтверждающих данных.

В экспериментальных исследованиях на животных изучена скорость проникновения в СМ фентанила, введенного в ЭП, при интактных корешковых артериях и после наложения зажима на аорту, блокирующего кровотока в этих артериях (Bernards S., Sorkin L., 1994). Не выявлено различий в скорости проникновения фентанила в СМ, однако выявлена замедленная элиминация фентанила из СМ при отсутствии кровотока по корешковым артериям. Таким образом, корешковые артерии играют важную роль лишь в «вымывании» препаратов из СМ. Тем не менее опровергнутая «артериальная» теория транспорта препаратов из ЭП в СМ продолжает упоминаться в специальных руководствах.

Таким образом, в настоящее время экспериментально подтвержден лишь один механизм проникновения лекарственных препаратов из ЭП в СМЖ/СМ – диффузия через оболочки СМ (см. выше).

### **Новые данные по анатомии эпидурального пространства**

Большинство ранних исследований анатомии ЭП были выполнены с помощью введения рентгеноконтрастных растворов или при аутопсии. Во всех этих случаях исследователи сталкивались с искажением нормальных анатомических соотношений, обусловленных смещением компонентов ЭП относительно друг друга. Интересные данные

были получены в последние годы при помощи компьютерной томографии и эпидуроскопической техники, позволяющей изучать функциональную анатомию ЭП в непосредственной связи с техникой эпидуральной анестезии. Например, при помощи компьютерной томографии было подтверждено, что спинальный канал выше поясничного отдела имеет овальную форму, а в нижних сегментах – треугольную

С помощью 0,7 мм эндоскопа, введенного через иглу Tuohi 16G, было установлено, что объем ЭП увеличивается при глубоком дыхании, что может облегчить его катетеризацию (Igarashi, 1999). По данным КТ, жировая ткань преимущественно сконцентрирована под желтой связкой и в области межпозвонковых отверстий. Жировая клетчатка практически полностью отсутствует на уровнях  $C_7$ – $Th_1$ , при этом твердая оболочка непосредственно соприкасается с желтой связкой. Жир эпидурального пространства скомпонован в ячейки, покрытые тонкой мембраной. На уровне грудных сегментов жир фиксирован к стенке канала только по задней средней линии, а в ряде случаев рыхло прикрепляется к твердой оболочке. Это наблюдение может частично объяснить случаи асимметричного распределения растворов МА.

При отсутствии дегенеративных заболеваний позвоночника, межпозвонковые отверстия обычно открыты, независимо от возраста, что позволяет введенным растворам свободно покидать ЭП.

При помощи магнитно-резонансной томографии были получены новые данные об анатомии каудальной (сакральной) части ЭП. Расчеты, выполненные на костном скелете, свидетельствовали о том, что его средний объем составляет 30 мл (12–65 мл). Исследования, выполненные с применением МРТ, позволили учесть объем ткани, заполняющей каудальное пространство, и установить, что его истинный объем не превышает 14,4 мл (9,5–26,6 мл) (Crighton, 1997). В той же работе было подтверждено, что дуральный мешок заканчивается на уровне средней трети сегмента  $S_2$ .

Воспалительные заболевания и ранее перенесенные операции искажают нормальную анатомию ЭП.

### **Субдуральное пространство**

С внутренней стороны к ТМО очень близко прилежит паутинная оболочка, которая тем не менее с ней не соединяется. Пространство, образуемое этими оболочками, называют субдуральным.

Термин «субдуральная анестезия» является некорректным и не идентичным термину «субарахноидальная анестезия». Случайное введение анестетика между паутинной и твердой мозговой оболочками может явиться причиной неадекватной спинальной анестезии.

### Субарахноидальное пространство

Начинается от большого затылочного отверстия (где переходит в интракраниальное субарахноидальное пространство) и продолжается приблизительно до уровня второго крестцового сегмента, ограничивается паутинной и мягкой мозговой оболочками. Оно включает в себя СМ, спинномозговые корешки и спинномозговую жидкость.

Ширина спинального канала составляет около 25 мм на шейном уровне, на грудном он сужается до 17 мм, на поясничном ( $L_1$ ) расширяется до 22 мм, а еще ниже – до 27 мм. Передне-задний размер на всем протяжении составляет 15–16 мм.

Внутри спинального канала располагаются СМ и конский хвост, СМЖ, а также кровеносные сосуды, питающие СМ. Окончание СМ (conus medullaris) находится на уровне  $L_{1-2}$ . Ниже конуса СМ трансформируется в пучок нервных корешков (конский хвост), свободно «плавающих» в СМЖ в пределах дурального мешка. В настоящее время рекомендуется осуществлять пункцию субарахноидального пространства в межпозвоночном промежутке  $L_{3-4}$ , чтобы снизить до минимума вероятность травмы иглой СМ. Корешки конского хвоста достаточно мобильны, и опасность их травмирования иглой крайне мала.

### Спинальный мозг

Располагается на протяжении от большого затылочного отверстия до верхнего края второго (очень редко третьего) поясничного позвонка. Его средняя протяженность составляет 45 см. У большинства людей СМ заканчивается на уровне  $L_2$ , в редких случаях достигая нижнего края 3-го поясничного позвонка.

### Кровоснабжение спинного мозга

СМ снабжается спинальными ветвями позвоночной, глубокой шейной, межреберных и поясничной артерий. Передние корешковые артерии входят в спинной мозг поочередно – то справа, то слева (чаще слева). Задние спинальные артерии

являются ориентированными вверх и вниз продолжениями задних корешковых артерий. Ветви задних спинальных артерий соединяются анастомозами с аналогичными ветвями передней спинальной артерии, образуя многочисленные сосудистые сплетения в мягкой мозговой оболочке (пиальную сосудистую сеть).

Тип кровоснабжения СМ зависит от уровня вхождения в спинномозговой канал самой большой по диаметру корешковой (радикуломедулярной) артерии – так называемой артерии Адамкевича. Возможны различные анатомические варианты кровоснабжения СМ, в том числе такой, при котором все сегменты ниже  $Th_{2-3}$  питаются из одной артерии Адамкевича (вариант **а**, около 21% всех людей). В других случаях возможны: **б**) нижняя дополнительная радикуломедулярная артерия, сопровождающая один из поясничных или 1-й крестцовый корешок, **в**) верхняя дополнительная артерия, сопровождающая один из грудных корешков, **г**) рассыпной тип питания СМ (три и более передних радикуломедулярных артерий).

Как в варианте **а**, так и в варианте **в**, нижняя половина СМ снабжается только одной артерией Адамкевича. Повреждение данной артерии, компрессия ее эпидуральной гематомой или эпидуральным абсцессом способны вызвать тяжкие и необратимые неврологические последствия.

От СМ кровь оттекает через извилистое венозное сплетение, которое также располагается в мягкой оболочке и состоит из шести продольно ориентированных сосудов. Это сплетение сообщается с внутренним позвоночным сплетением ЭП из которого кровь оттекает через межпозвоночные вены в системы непарной и полунепарной вен.

Вся венозная система ЭП не имеет клапанов, поэтому она может служить дополнительной системой оттока венозной крови, например у беременных при аорто-кавальной компрессии. Переполнение кровью эпидуральных вен повышает риск их повреждения при пункции и катетеризации ЭП, в том числе увеличивается вероятность случайного внутрисосудистого введения местных анестетиков.

### Спинномозговая жидкость

Спинальный мозг омывается СМЖ, которая играет амортизирующую роль, защищая его от травм. СМЖ представляет собой ультрафильтрат крови (прозрачная бесцветная жидкость), который

образуется хориоидальным сплетением в боковом, третьем и четвертом желудочках головного мозга. Скорость продукции СМЖ составляет около 500 мл в день, поэтому даже потеря ее значительного объема быстро компенсируется.

СМЖ содержит протеины и электролиты (в основном  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ) и при  $37^\circ\text{C}$  имеет удельный вес 1,003–1,009 (см. табл.).

Арахноидальные (пахионовы) грануляции, расположенные в венозных синусах головного мозга, дренируют большую часть СМЖ. Скорость абсорбции СМЖ зависит от давления в СП. Когда это давление превышает давление в венозном синусе, открываются тонкие трубочки в пахионовых грануляциях, которые пропускают СМЖ в синус. После того как давление выравнивается, просвет трубочек закрывается. Таким образом, имеет место медленная циркуляция СМЖ из желудочков в СП и далее, в венозные синусы. Небольшая часть СМЖ абсорбируется венами СП и лимфатическими сосудами, поэтому в позвоночном субарахноидальном пространстве происходит некоторая локальная циркуляция СМЖ. Абсорбция СМЖ эквивалентна ее продукции, поэтому общий объем СМЖ обычно находится в пределах 130–150 мл.

Возможны индивидуальные различия объема СМЖ в люмбосакральных отделах спинального канала, которые могут оказывать влияние на распределение МА. Исследования при помощи ЯМР выявили вариабельность объемов СМЖ люмбосакрального отдела в объемах от 42 до 81 мл (Carpenter R., 1998). Интересно отметить,

что люди с избыточным весом имеют меньший объем СМЖ. Наблюдается отчетливая корреляция между объемом СМЖ и эффектом спинальной анестезии, в частности, максимальной распространенностью блока и скоростью его регрессии.

### Корешки спинного мозга и спинномозговые нервы

Каждый нерв образуется за счет соединения переднего и заднего корешка СМ. Задние корешки имеют утолщения – ганглии задних корешков, которые содержат тела нервных клеток соматических и вегетативных сенсорных нервов. Передние и задние корешки по отдельности проходят латерально через паутинную и ТМО прежде, чем объединиться на уровне межпозвоночных отверстий, формируя смешанные спинномозговые нервы. Всего существует 31 пара спинномозговых нервов: 8 шейных, 12 грудных, 5 поясничных, 5 крестцовых и одна копчиковая.

СМ растет медленнее позвоночного столба, поэтому он короче позвоночника. В результате этого сегменты и позвонки не находятся в одной горизонтальной плоскости. Поскольку сегменты СМ короче соответствующих позвонков, то в направлении от шейных сегментов к крестцовым постепенно увеличивается расстояние, которое необходимо преодолеть спинномозговому нерву, чтобы достичь «своего» межпозвоночного отверстия. На уровне крестца это расстояние составляет 10–12 см. Поэтому нижние поясничные корешки удлиняются и загибаются каудально, формируя вместе с крестцовыми и копчиковыми корешками конский хвост.

В пределах субарахноидального пространства корешки покрыты только слоем мягкой мозговой оболочки. Это является отличием от ЭП, где они становятся большими смешанными нервами со значительным количеством соединительной ткани как внутри, так и снаружи нерва. Это обстоятельство является объяснением того, что для спинальной анестезии требуются намного меньшие дозы местного анестетика, в сравнении с таковыми для эпидуральной блокады.

Индивидуальные особенности анатомии спинных корешков могут определять вариабельность эффектов спинальной и эпидуральной анестезии. Размеры нервных корешков у различных людей могут значительно варьировать. В частности, диаметр корешка  $L_5$  может колебаться от 2,3 до 7,7 мм. Задние корешки имеют больший

#### Физико-химические свойства СМЖ

рН	7,3
Общий объем (взр.)	150 мл
Удельный вес	1,003–1,009
Давление СМЖ (положение на боку)	60–80 мм рт. ст
Протеин	18–41 мг/дл
Глюкоза	50–75 мг/дл
Натрий	137–153 ммоль/л
Калий	2,6–3,3 ммоль/л
Кальций	1,02–1,34 ммоль/л
Магний	0,9–1,2 ммоль/л
Хлорид	120–130 ммоль/л

размер по сравнению с передними, но состоят из трабекул, достаточно легко отделимых друг от друга. За счет этого они обладают большей поверхностью соприкосновения и большей проницаемостью для местных анестетиков по сравнению с тонкими и не имеющими трабекулярной структуры передними корешками. Эти анатомические особенности отчасти объясняют более легкое достижение сенсорного блока по сравнению с моторным.

### Литература

1. *Angst M., Ramaswamy B., Riley E., Stanski D.* Lumbar epidural morphine in humans and supraspinal analgesia to experimental heat pain // *Anesthesiology*. 2000; 92: 312–324.
2. *Bernards C., Hill H.* Physical and chemical properties of drug molecules governing their diffusion through the spinal meninges. // *Anesthesiology*. 1992; 77: 750–756.
3. *Bernards S., Sorkin L.* Radicular artery blood flow does not redistribute fentanyl from epidural space to the spinal cord // *Anesthesiology*. 1994; V: 872–878.
4. *Broadbent C., Maxwell W., Ferrie R.* Ability of anesthesiologist to identify a marked lumbar interspace // *Anaesthesia*. 2000; 55: 1045–1046.
5. *Carpenter R., Hogan Q., Liu S.* Lumbosacral cerebrospinal fluid volume is the primary determinant of sensory block extent and duration during spinal anesthesia. // *Anesthesiology*. 1998; 89: 24–29.
6. *Cousins M., Bridenbaugh P.* Neural Blockade in Clinical Anesthesia and Management of Pain, 3-rd ed., Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1998.
7. *Crighton I., Barry B., Hobbs G.* A study of the anatomy of the caudal space using magnetic resonance imaging // *Br. J. Anaesth.* 1997; 78: 391–395.
8. *Hogan Q.* Lumbar epidural anatomy. A new look for cryomicrotome section. // *Anesthesiology*. 1991; 75: 767–775.
9. *Igarashi T., Hirabayashi Y., Shimizu R.* The epidural structure changes during deep breathing // *Can. J. Anaesth.* 1999; 46: 850–855.
10. *Meijenghorst G.* Computed tomography of lumbar veins // *Radiology*. 1982; 145: 687–691.
11. *Reynolds F.* Logic in the safe practice of spinal anaesthesia // *Anaesthesia*. 2000; 55: 1045–1046.
12. *Yamashima T.* Functional ultrastructure of cerebrospinal fluid drainage channels in human arachnoid villi. // *Neurosurgery*. 1988; 22: 633–641.

### Заключение

Правильные представления об анатомии позвоночника и структур позвоночного канала абсолютно необходимы в повседневной практической деятельности анестезиолога-реаниматолога. Они являются залогом успешности выполнений нейроаксиальных блокад, а также позволяют снизить до минимума число осложнений нейроаксиальной анестезии, порой имеющих жизнеугрожающий характер.