

ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ РАБДОМИОЛИЗА

Диагностика РМ на ранней стадии часто бывает затруднена из-за неярко выраженной клинической картины. Если говорить о категории больных, находящихся в ОРИТ и имеющих спутанное сознание, сбор анамнеза о жалобах, предшествующих травмах, употреблении лекарственных и наркотических препаратов может быть затруднен; видимые следы повреждения скелетной мускулатуры могут отсутствовать. Необходимо учитывать, что течение РМ может протекать бессимптомно или повышение МГ и КФК будет случайной диагностической находкой, не укладывающейся в клиническое течение заболевания и приведшей к развитию тяжелых осложнений. Так, по данным, представленным Р.А. Gabow и соавт. (1982), лишь половина пациентов жалуются на боли в мышцах [104]. Именно поэтому клиницистам, и в первую очередь врачам ОРИТ, необходимо иметь в арсенале методы диагностики, которые позволяют обнаружить источник РМ.

В настоящее время большое значение в диагностике заболеваний мышечной ткани приобретают лучевые методы диагностики: КТ, МРТ, УЗИ.

Компьютерная томография

При РМ на КТ-изображениях пораженные мышечные волокна гиподенсивны, определяются признаки отека, утолщения мышц и неоднородность структуры [105]. По мере прогрессирования мышечного повреждения на постконтрастных изображениях может обнаруживаться периферическое усиление вокруг областей инфаркта мышечной ткани или участков некроза в виде точек или линейной формы полос вокруг измененных мышц (в англоязычной литературе — *stipple sign*) [106].

Магнитно-резонансная томография

МРТ — более чувствительный метод диагностики повреждения скелетных мышц, нежели КТ [107]. Наиболее информативными режимами в диагностике отечных изменений мышц и рабдомиолиза являются T2-ВИ, SPAIR, STIR в совокупности с DWI с факторами взвешенности b-0, b-500 и b-1000. При МРТ основными признаками острой фазы РМ являются повышение интенсивности сигнала пораженных мышц в T2-взвешенных и STIR-режимах и снижение интенсивности в T1-взвешенном

режиме, что свидетельствует о повышении количества воды в межклеточной ткани, жизнеспособных и некротизированных мышечных волокнах. Исследование мышц в T2-взвешенном режиме позволяет определить участки некроза мышц [108, 109]. Интенсивность магнитно-резонансного (МР) сигнала коррелирует со степенью повреждения мышц: гомогенное повышение МР-сигнала (T2-ВИ, STIR) характерно для обратимых изменений мышечной ткани без массивных некрозов, тогда как негетогенное повышение сигнала (T2-ВИ, STIR) указывает на уже необратимые изменения и некроз мышечной ткани [109].

К недостаткам КТ и МРТ можно отнести воздействие лучевой нагрузки, продолжительное время сканирования, наличие ряда абсолютных и относительных противопоказаний к проведению исследования. Например, проведение этих исследований может быть ограничено у пациентов с неконтролируемыми двигательными нарушениями, психомоторным возбуждением, клаустрофобией, эпилепсией, наличием искусственных водителей ритма сердца, при необходимости нахождения пациента на ИВЛ в условиях ОРИТ.

Ультразвуковое исследование

Ультразвук (УЗ) используется в медицинской практике после того, как в начале 1950-х годов J.J. Wild и соавт. была обнаружена способность высокочастотных УЗ-волн визуализировать живые ткани [110]. С тех пор техника УЗИ продолжала стремительно развиваться, что привело к ее широкому применению практически во всех областях медицины. В 1980 г. J.Z. Heckmatt и соавт. впервые обнаружили, что мышечные волокна при различных мышечных заболеваниях отличаются по внешнему виду при УЗИ по сравнению со здоровыми мышцами [111]. Это открытие положило начало широкому изучению возможностей УЗИ в диагностике различных патологий мышечной ткани. В настоящее время УЗ-сканеры позволяют визуализировать мышечные ткани с разрешением до 0,1 мм — например, при использовании МРТ 3 Тесла возможно достичь разрешения изображения до $0,2 \times 0,2 \times 1,0$ мм [112, 113].

УЗИ мышц является наиболее простым методом оценки нормальных и патологически измененных мышц. УЗ-метод отличается неинвазивностью, возможностью оценить структуру поврежденных мышц у больных РМ в режиме реального времени без дополнительной лучевой нагрузки, быстротой выполнения и отсутствием противопоказаний, низкой эксплуатационной стоимостью (в отличие от методик КТ и МРТ), мобильностью аппаратуры, что делает его особенно актуальным для больных,

находящихся в ОРИТ. Неоспоримым преимуществом УЗИ является возможность выполнения многократных исследований в динамике на фоне проводимого лечения. Помимо этого, УЗ-метод может дополнительно использоваться в качестве контроля в режиме реального времени при выполнении биопсии мышц для выбора оптимального места забора материала для морфологического исследования.

Ультразвуковое исследование неизменной мышечной ткани

Неизменная мышца в норме гипоехогенна, т.е. имеет низкую интенсивность эхосигнала. Поскольку здоровые мышцы содержат небольшое количество фиброзной ткани, отражается лишь небольшое количество УЗ-волн, в результате получается относительно гипоехогенное изображение [114]. В норме мышцы имеют четкие контуры, выраженную поперечную исчерченность; на фоне гипоехогенной мышечной ткани визуализируются эхогенный перимизий и тонкие прослойки эндомизия внутри мышцы. Эхогенность прослоек эндомизия и перимизия с возрастом повышается [115]. Снаружи всю поверхность мышцы покрывает эпимизий — плотная соединительнотканная гиперэхогенная оболочка [116]. Собственная глубокая фасция окружает мышцу или группу мышц, визуализируясь на УЗ-изображениях в виде гиперэхогенной протяженной структуры, граничащей с соседними мышцами или слоем подкожно-жировой клетчатки (рис. 12).

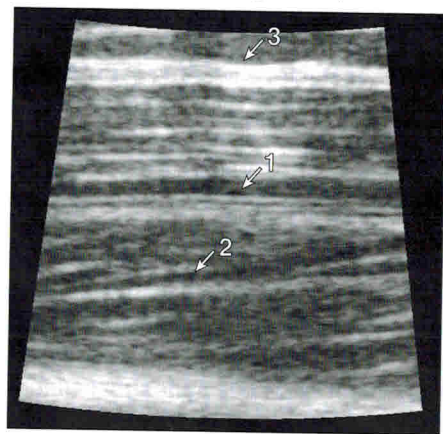


Рис. 12. Гиперэхогенные прослойки эпимизия (1) и перимизия (2). Собственная глубокая фасция мышцы (3), окружающая мышечные пучки

При сканировании в поперечной плоскости перпендикулярно длинной оси мышцы имеют «пятнистый» вид из-за отражения перимизимальной соединительной ткани, обладающей умеренной эхогенностью (рис. 13, а). При сканировании в продольной плоскости (по длинной оси мышцы) становится видимой фасцикулярная архитектура мышц. Отображение перимизимальной соединительной ткани при продольном сканировании приводит к линейной или перистой структуре мышцы на УЗ-изображении (рис. 13, б).

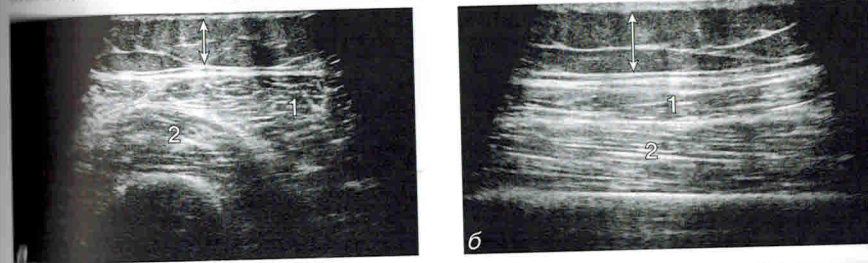


Рис. 13. Четырехглавая мышца бедра при сканировании в поперечной (а) и продольной плоскости (б). Четкая дифференциация прямой (1) и промежуточной (2) мышц бедра со слоем подкожно-жировой клетчатки (отмечен сдвоенной стрелкой), типичная перистая структура и исчерченность неизменной мышцы

Таким образом, мышцы при УЗИ имеют довольно отчетливый и характерный вид, что позволяет с легкостью идентифицировать их на фоне окружающих структур, таких как подкожно-жировая клетчатка, кости, нервные стволы и кровеносные сосуды (рис. 14). Границы мышц на УЗ-изображениях хорошо видны, так как эпимизий, окружающий мышцы, является высокоотражающей структурой [114].

Связки, сухожилия и нервы относительно гиперэхогенны по сравнению с неизменными мышцами. Сухожилия и связки при продольном сканировании имеют отчетливое волокнистое строение, обусловленное наличием эхогенных коллагеновых волокон (рис. 15). При поперечном сканировании сухожилия визуализируются в виде овальных или уплощенной формы структур с типичной гиперэхогенной пунктирной исчерченностью. Снаружи сухожилия окружены рыхлой соединительной тканью — паратеноном, имеющим вид четкой ровной гиперэхогенной линии на УЗ-изображениях, либо сухожильным влагалищем [116, 117].

Нервы и сухожилия имеют схожий вид на УЗ-изображениях, однако для нервов характерна более грубая внутренняя структура. При

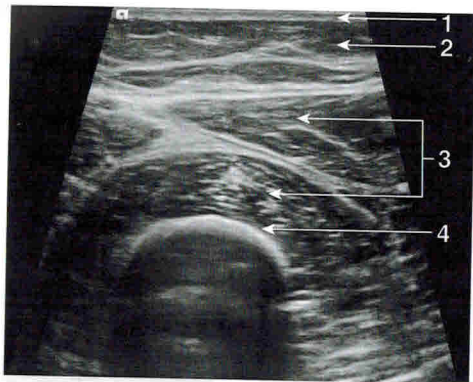


Рис. 14. Проекция средней трети бедра, поперечное сканирование (стрелками обозначены идентифицируемые структуры): 1 — кожа; 2 — подкожно-жировая клетчатка; 3 — прямая и промежуточная мышцы бедра; 4 — поверхность бедренной кости

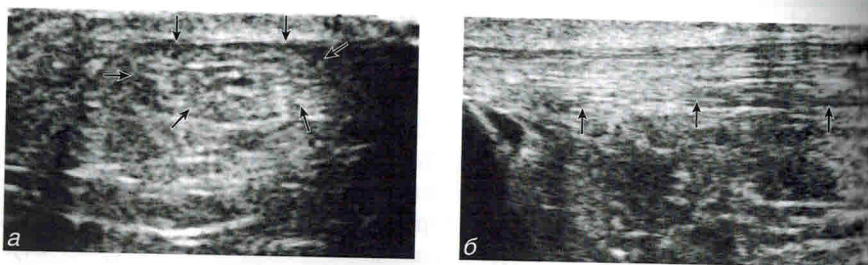


Рис. 15. Ультразвуковое изображение ахиллова сухожилия в поперечной (а) и продольной (б) плоскостях сканирования. Отчетливо прослеживается волокнистое строение

поперечном исследовании внутренняя структура нерва мелкоячеистая (по типу «медовых сот»), гетерогенная, имеет штриховую исчерченность. При сканировании в продольной проекции нервы визуализируются в виде непрерывного тяжа линейной формы с четким гиперэхогенным контуром, имеют фасцикулярную структуру (за счет чередования гипер- и гипоехогенных линий, отображающих его аксональное строение) и характерное пучковое строение, обусловленное наличием соединительной ткани (по типу «электрического кабеля») [116, 118]. Толщина нервов переменна: пальцевые нервы имеют диаметр 1 мм, тогда как толщина седалищного нерва может составлять 8 мм (рис. 16) [119].

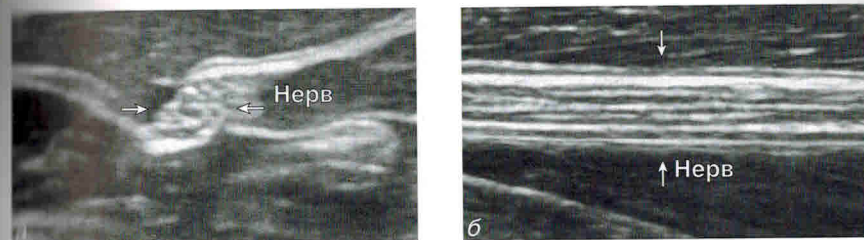


Рис. 16. Ультразвуковое изображение срединного нерва в поперечной (а) и продольной (б) плоскостях сканирования

Кровеносные сосуды представляют собой гипо- или анэхогенные округлой формы структуры либо линии (в зависимости от плоскости сканирования: продольной или поперечной), имеющие цветное окрашивание в режиме цветового доплеровского картирования, что позволяет их легко идентифицировать на фоне окружающих мышц (рис. 17). При оказании компрессионного воздействия датчиком артерии несжимаемы, тогда как вены представляют собой сжимаемые структуры.

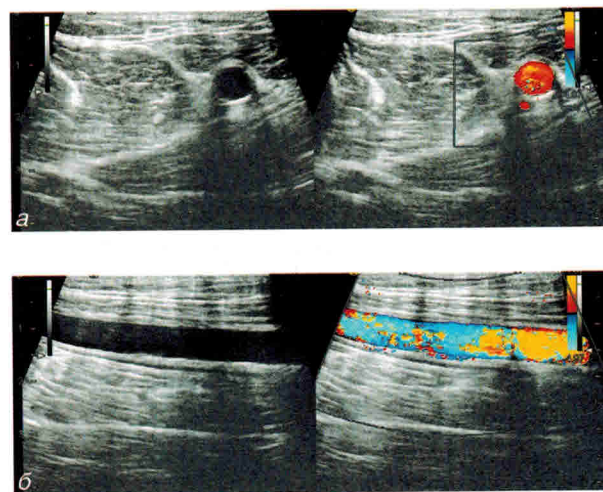


Рис. 17. Большая подкожная вена, В-режим и режим цветового доплеровского картирования в поперечной (а) и продольной (б) плоскостях сканирования

Подкожно-жировая клетчатка имеет низкую интенсивность эхосигнала, иногда могут быть видны эхогенные перегородки соединительной ткани внутри тканевого слоя [114]. С возрастом количество

Методика ЭГ сдвиговой волны (динамический метод) позволяет путем генерации и анализа сдвиговых волн количественно измерить эластичность (или жесткость) мышечной ткани. Получение эластографического изображения при ЭГ сдвиговой волны базируется на вибрационном воздействии на ткани с помощью внешних источников и не требует оказания компрессии датчиком при выполнении исследования. В связи с этим методика характеризуется большей воспроизводимостью, меньшей зависимостью получаемых результатов от практического опыта исследователя, а также возможностью получения не только качественных, но и количественных показателей [122].

При выполнении ЭГ сдвиговой волны окно опроса устанавливается в толще исследуемой мышцы, фиксируют показатели плотности в метрах в секунду (м/с) с последующим вычислением среднего значения. Проводить оценку плотности можно как в поперечной, так и продольной плоскости сканирования (рис. 25). У мужчин величина плотности мышечной ткани в норме колеблется в пределах 2,79–2,91 м/с, у женщин — 1,73–2,56 м/с, у детей — 1,74–1,78 м/с. При физической нагрузке и сгибании исследуемой конечности показатель плотности мышц может достигать 6,57–7,53 м/с, что необходимо учитывать при обследовании пациентов с повышенной спастичностью мышц, сгибательными контрактурами [115].

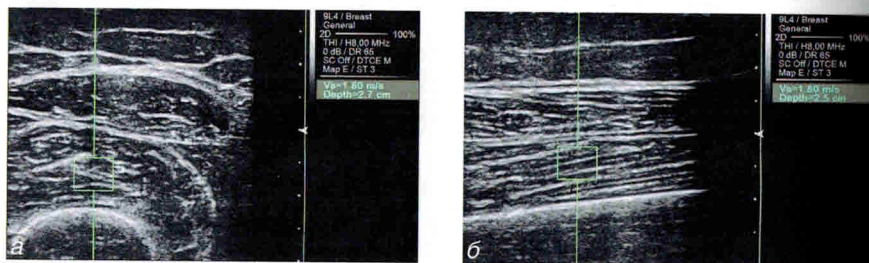


Рис. 25. Режим эластографии сдвиговой волны, промежуточная мышца бедра. Плотность мышцы при сканировании в поперечной (а) и продольной (б) плоскостях составляет идентичное значение — 1,8 м/с

Изменения мышц при рабдомиолизе в В-режиме

Первые описания использования УЗИ для оценки состояния мышц при РМ были опубликованы еще в начале 1980-х годов. G.N. Kaplan в 1980 г. представил клинический случай РМ у 28-летней женщи-

ны с повышенным уровнем КФК. При выполнении УЗИ области бедра автором было отмечено наличие гипоехогенных очагов в структуре мышц [123]. Позднее, в 1986 г., V.D. Fornage и соавт. сообщили о единичном наблюдении РМ у 26-летнего мужчины, находившегося в коме в течение 30 ч после попытки суицида, с уровнем барбитуратов в крови 184 мг/л [124]. На фоне РМ, сопровождавшегося повышением уровня КФК и лактатдегидрогеназы, при УЗИ мышц предплечья больного были обнаружены гипоехогенные округлой формы участки (очаги некроза). При динамическом УЗИ было обнаружено, что через месяц произошло восстановление структуры мышц, гипоехогенные участки в мышечных волокнах отсутствовали.

С тех пор было проведено большое количество исследований, в основном представленных единичными клиническими случаями. При анализе базы данных PubMed (ключевые слова поиска — ultrasound, rhabdomyolysis) наибольшее количество наблюдений было представлено в публикации В.Н. Су и соавт. в 2009 г. Исследование включало 50 больных с РМ и 18 пострадавших во время землетрясения в Китае с компартмент-синдромом [125].

Обобщая данные литературы, РМ могут сопутствовать такие эхографические изменения со стороны мышц (рис. 26), как:

- наличие чередующихся участков повышенной и пониженной эхогенности в структуре мышц в острой фазе мышечного повреждения;
- увеличение толщины и объема пораженных мышц;
- диффузное повышение (либо в ряде случаев — диффузное снижение) эхогенности мышечных волокон (вызванное отеком и воспалением мышц);
- дезорганизация фасцикулярной архитектоники мышц, снижение структурности, стертость мышечного рисунка;
- наличие межмышечно расположенных гипоехогенных и анэхогенных жидкостных включений и участков неправильной формы (представляющих собой участки некроза);
- появление межмышечно расположенных гиперэхогенных участков с размытыми контурами по типу «матового стекла» различных размеров;
- наличие аркоподобных выбуханий мышечной фасции;
- снижение дифференцировки контуров мышц;
- утолщение фасций;
- нечеткость отображения фасций (в ряде случаев — появление жидкостных прослоек в межфасциальных пространствах);
- снижение скорости кровотока в дистально расположенных артериях [126–130].

Необходимо отметить, что изменения, выявляемые при УЗИ в серошкальном В-режиме, не являются специфичными для РМ и могут наблюдаться при других мышечных патологиях, в частности при миозите, воспалительной идиопатической миопатии. Так, снижение эхогенности мышц может быть обусловлено местным воспалением, отеком мышечной ткани, кровоизлияниями при разрывах мышц и многими другими причинами.

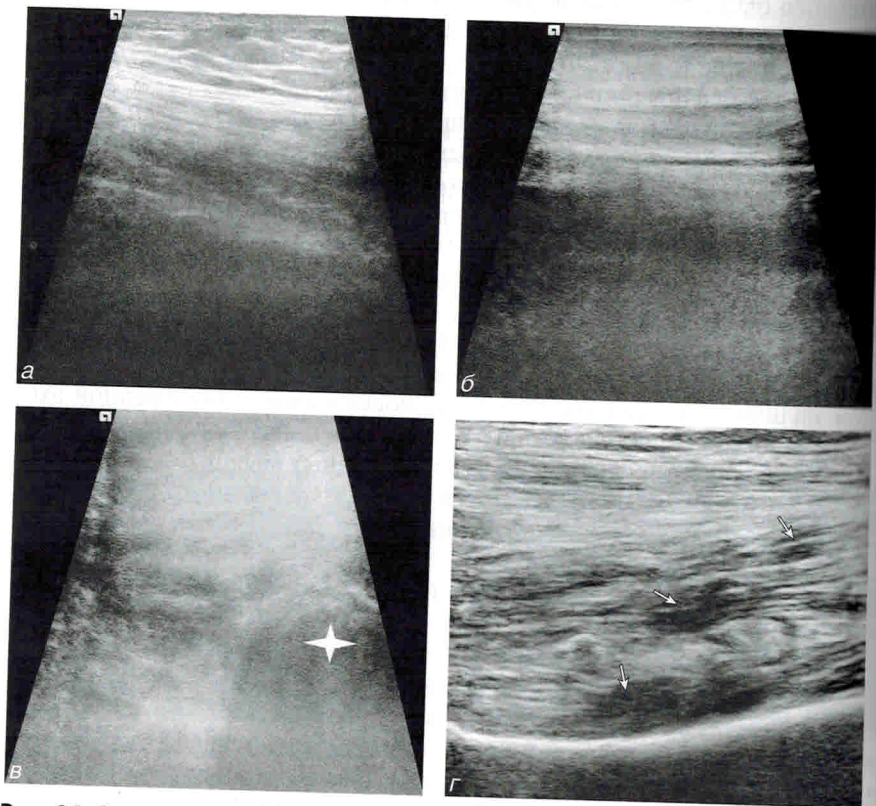


Рис. 26. Варианты ультразвуковых изображений четырехглавой мышцы бедра в острой фазе рабдомиолиза, В-режим: *а* — диффузное снижение эхогенности мышц, стертость мышечного рисунка; *б* — диффузное повышение эхогенности мышц, жидкость в межфасциальном пространстве; *в* — выраженный диффузный отек мышцы, отсутствие визуализации кортикального слоя бедренной кости (отмечен звездочкой), поперечный срез; *г* — гипозоногенные очаги миозита (указаны стрелками) в структуре промежуточной мышцы бедра;

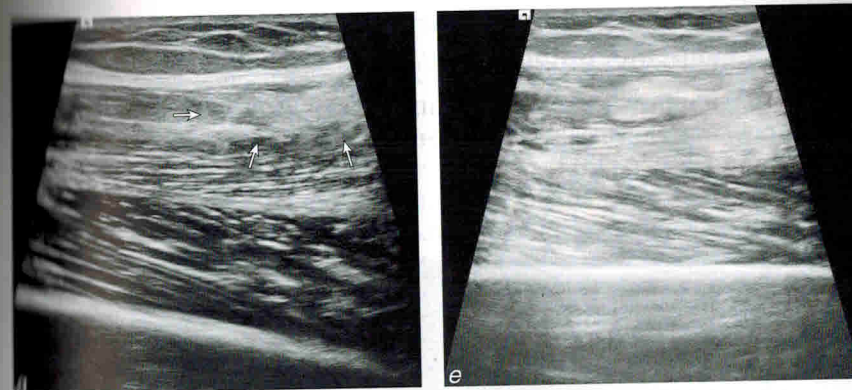


Рис. 26. Окончание. Варианты ультразвуковых изображений четырехглавой мышцы бедра в острой фазе рабдомиолиза, В-режим: *д* — участок локального повышения эхогенности в структуре прямой мышцы бедра по типу «матового стекла» (отмечен стрелками), утолщение фасции; *е* — неравномерно выраженное диффузное повышение эхогенности прямой и промежуточной мышц

Изменения мышц при рабдомиолизе при исследовании в режиме компрессионной эластографии

При РМ мышечное волокно приобретает равномерное эластическое окрашивание с наличием множественных высокоэластических зон (отображающихся участками красного цвета), плотные зоны практически не определяются [131], что отображает процессы размягчения и некроза мышечной ткани (рис. 27).

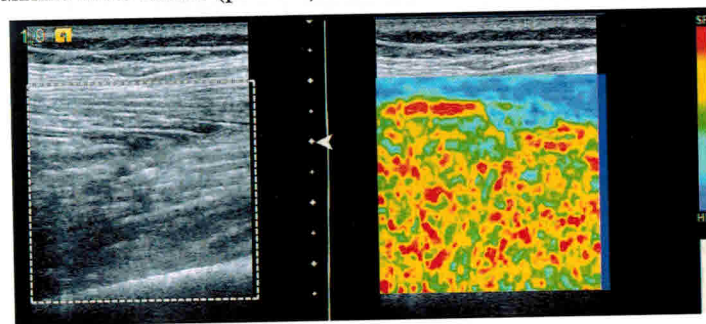


Рис. 27. Режим компрессионной эластографии, четырехглавая мышца бедра в острой фазе рабдомиолиза. Мышечное волокно характеризуется равномерным эластическим окрашиванием с наличием высокоэластических зон

Хирургические методы лечения больных рабдомиолизом

Главными целями лечения миофасциального компартмент-синдрома являются нормализация внутритканевого давления и максимально возможное восстановление нормальной нервно-мышечной функции.

Фасциотомия. Операцию проводят с целью предупреждения или лечения ишемического повреждения, возникающего в результате повышения миофасциального давления при миофасциальном компартмент-синдроме (рис. 31). Фасциотомия делится на профилактическую и лечебную.

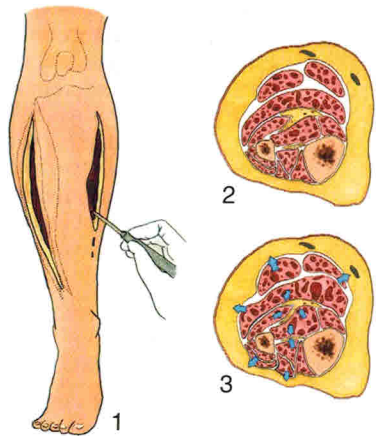


Рис. 31. Фасциотомические разрезы при миофасциальном компартмент-синдроме: 1 — фасциотомические разрезы; 2 — нормальная анатомия; 3 — компартмент-синдром

Профилактическую фасциотомию выполняют у больных без признаков повышенного миофасциального давления, например в период более 6 ч между повреждением сосуда и реваскуляризацией или при тяжелых повреждениях вен, которые потребовали перевязки крупной вены. Основные показания к профилактической фасциотомии следующие.

1. Выраженная венозная недостаточность.
2. Повреждение подколенной артерии или вены.
3. Неудавшаяся артериальная реконструкция.
4. Поздняя артериальная реконструкция (>6 ч после травмы).
5. Выраженный отек мягких тканей конечности.
6. Кровоостанавливающий жгут Эсмарха, наложенный в течение 2 ч.

Лечебную фасциотомию выполняют у больных с признаками повышенного миофасциального давления, определенного при клиническом исследовании или при измерении миофасциального давления (либо обоих этих признаков). Миофасциальное давление более 30 мм рт.ст. следует расценивать как патологическое. Повышенное миофасциальное давление — это абсолютное показание к выполнению лечебной фасциотомии. Любой из следующих клинических симптомов следует рассматривать как индикатор повышения миофасциального давления.

1. Напряжение субфасциальных тканей и мышц с (или без) парестезией.
2. Боль при пассивных движениях конечности.
3. Паралич при отсутствии повреждения нерва.
4. Ослабление периферического пульса.

Ампутация конечности. Показаниями для ампутации конечности является следующее.

1. Разрушение (размозжение) конечности.
2. Гангрена конечности.
3. Прогрессирующая раневая инфекция с развитием сепсиса при неэффективности консервативной терапии.

Экстракорпоральные методы лечения

Потенциально эффективными методами терапии критических состояний являются экстракорпоральные методы лечения (ЭМЛ). В настоящий момент ЭМЛ стали неотъемлемым компонентом терапии больных в критических состояниях: 67–84% больных, которые находятся в ОРИТ, проводится экстракорпоральная детоксикация. В основе действия ЭМЛ на организм больного — снижение уровня интоксикации, коррекция уремических нарушений, контроль водно-электролитного и кислотно-основного обменов.

Первые попытки очищения крови вне организма относятся к 1913–1914 гг. В 1913 г. В.А. Юревич и Н.К. Розенберг осуществили первый в мире успешный плазмаферез (ПФ) в эксперименте на лабораторных животных. В 1914 г. J. Abel и соавт. проводили исследования на собаках в Медицинской школе в Балтиморе, которые легли в основу современных ЭМЛ [178].

В настоящее время отсутствуют четкие рекомендации, регламентирующие начало применения и вид ЭМЛ. Каждый из перечисленных методов ЭМЛ имеет свои преимущества и недостатки, которые связаны со спектром удаляемых веществ и их молекулярной массой. Именно поэто-

му в данном разделе будут перечислены основные виды ЭМЛ, которые применяются при лечении РМ и его осложнений.

В клинической практике для лечения больных РМ используют следующие варианты ЭМЛ.

1. ПФ.
2. Селективная плазмофильтрация.
3. Гемосорбция.
4. ЗПТ:
 - гемодиализ;
 - гемодиофильтрация;
 - гемофильтрация;
 - «гибридные» технологии.

Плазмаферез. ПФ — метод эфферентной терапии, состоящий в удалении большого объема плазмы больного с последующим ее замещением свежезамороженной донорской плазмой, растворами кристаллоидов, коллоидов и альбумина.

Активное применение ПФ как одного из методов экстракорпоральной детоксикации у больных РМ в настоящее время находит неоднозначную оценку. Положительным моментом ПФ является его способность удалять из циркулирующей крови широкий спектр токсичных веществ, включая МГ. Однако ПФ имеет ограничения по удаляемому объему плазмы, также отмечается значимая потеря белка во время сеансов ПФ.

Изучая иностранные публикации, посвященные применению ПФ у больных с РМ, необходимо отметить, что в них описаны единичные случаи или небольшие группы больных [179–181].

Высокая эффективность ПФ у больных травматическим РМ была продемонстрирована при лечении пострадавших в результате землетрясения в Армении (1988). Согласно данным, представленным П.А. Воробьевым (1998), у 106 пострадавших сеансы ПФ выполнялись в первые сутки после декомпрессии и у 134 пострадавших — в поздние сроки совместно с ГД. Раннее применение ПФ позволило быстро купировать клинические проявления ДВС-синдрома, предупредить развитие ОПП. Применение ПФ совместно с ГД привело к сокращению стадии анурии. Общая летальность, по данным автора, составила 10,5% [182].

Селективная плазмофильтрация. Это перспективная методика экстракорпоральной детоксикации. В основе данной методики лежит применение фракционаторов плазмы EVACLIO (Kawasumi Laboratories Inc., Япония). Мембрана фракционатора плазмы представляет собой полимер этилена и винилового спирта. Суммарная площадь мембра-

ны — от 1 до 2 м². Фракционаторы плазмы имеют диаметр пор в диапазоне от 0,008 до 0,03 мкм, что позволяет элиминировать медиаторы воспаления и «средние» молекулы, а также снижать потерю белка и факторов свертывания. Преимуществом селективной плазмофильтрации перед ПФ является возможность «очистки» большего объема плазмы больного и уменьшение потребности в донорской свежзамороженной плазме, что делает процедуру более безопасной, так как снижается риск развития трансфузионных осложнений или передачи трансмиссивных инфекций.

В настоящее время имеются единичные публикации, посвященные применению селективной плазмофильтрации у больных РМ, поэтому данная методика не является рутинной.

Гемосорбция. Один из методов ЭМЛ, основанный на процессе поглощения из крови токсичных веществ эндогенной и экзогенной природы путем образования связей с активными центрами на поверхности сорбента. В основе метода лежат такие механизмы, как гидрофобные взаимодействия, ионное притяжение, водорастворимые связи и силы Ван-дер-Ваальса. Сорбенты могут применяться как самостоятельно, так и в комбинации с другими видами ЭМЛ.

В настоящее время гемосорбция переживает возрождение. Это связано с тем, что на смену угольным сорбентам, обладавшим высокой частотой побочных реакций, пришло новое поколение селективных сорбентов. Селективные сорбенты позволяют элиминировать определенную группу веществ, отвечающих за поддержание патологического процесса. В первую очередь к данной группе относятся применяемые при лечении сепсиса.

Одним из сорбентов, который применяется в медицинской практике в настоящее время, является система CytoSorb® (Cytosorbents Inc., США). CytoSorb® представляет собой высокотехнологичный гранулированный полимер, позволяющий адсорбировать молекулы до 55 кДа. Первоначально CytoSorb® использовался с целью элиминации цитокинов у больных в критических состояниях. Дальнейшие исследования показали, что CytoSorb® способен сорбировать эндогенные молекулы, такие как МГ, свободный гемоглобин, что позволяет использовать его при лечении больных РМ [183].

До недавнего времени применение CytoSorb® у больных РМ различной этиологии носило описательный характер отдельных клинических случаев или небольших групп больных. Как правило, CytoSorb® включался в экстракорпоральный контур во время проведения сеансов ЗПТ. По литературным данным, применение CytoSorb® позволяет не только

эффективно снизить МГ и КФК, но и купировать ОПП у больных РМ различной этиологии [52, 184–186].

В 2021 г. С. Scharf и соавт. опубликовали результаты лечения 43 больных РМ различной этиологии. Для лечения использовалась комбинация CytoSorb® и высокопоточного ГД, так как у всех больных имело место ОПП. Анализируя применение CytoSorb®, авторы пришли к выводу, что комбинация двух методик ЭМЛ приводит к значительному снижению МГ у больных РМ, осложненном развитием ОПП [187].

Заместительная почечная терапия

Тяжелое ОПП, требующее ЗПТ, является серьезной проблемой в отделении интенсивной терапии, так как встречается у значительной части больных в критическом состоянии. По статистике, 5–15% больных с ОПП в отделении интенсивной терапии требуют проведения ЗПТ. При этом летальность может достигать 70% [188, 189]. В многонациональном проспективном исследовании AKI-EP 57,3% больных в отделениях интенсивной терапии имели ОПП и 13,5% нуждались в ЗПТ [190].

Развитие осложнений РМ, в частности ОПП, требует ЗПТ. Все методики ЗПТ по времени их проведения условно разделены на три группы: интермиттирующие, продленные и «гибридные» (табл. 17).

Таблица 17. Варианты заместительной почечной терапии

Интермиттирующие	Продленные	«Гибридные»
IHD	CVVHF	SLEDD
IUF	CAVHF	SLEDD-f
	CVVHD	
	CAVHD	
	CVVHDF	
	CAVHDF	

Примечание: IHD — intermittent hemodialysis; IUF — intermittent ultrafiltration; CAVHD — continuous arteriovenous hemodialysis; CVVHD — continuous venovenous hemodialysis; CAVHDF — continuous arteriovenous hemodiafiltration; CVVHDF — continuous venovenous hemodiafiltration; CAVHF — continuous arteriovenous hemofiltration; CVVHF — continuous venovenous hemofiltration; SLEDD — sustained low-efficiency daily dialysis; SLEDD-f — sustained low-efficiency daily dialysis-filtration.

Цель ЗПТ заключается в очищении крови с помощью полупроницаемых мембран. Полупроницаемые мембраны состоят из пористого биосовместимого синтетического материала. Широкий спектр веществ (вода, мочевины, растворенные вещества с низкой, средней и высокой молекулярной массой) может переноситься через мембраны из крови за счет физико-химических законов. К данным законам относятся диффузия, конвекция и ультрафильтрация [152].

Конвекция — процесс, когда растворенные вещества переносятся через полупроницаемую мембрану за счет ультрафильтрации (перенос воды через мембрану). Перемещение воды через мембрану осуществляется в соответствии с трансмембранным давлением, растворенные вещества переносятся с ним, пока пористость мембраны позволяет молекулам отделяться от крови (рис. 32) [191].

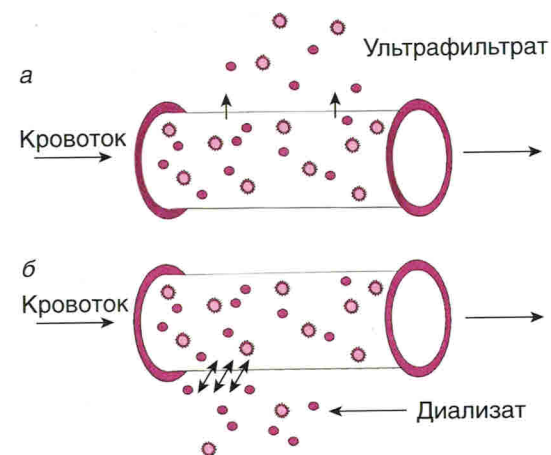


Рис. 32. Схема конвекции и диффузии: а — конвекция: перемещение растворенных веществ через мембрану происходит за счет их переноса во время ультрафильтрации. Растворенные вещества с более высокой (более крупные символы) и с более низкой молекулярной массой (<500–1500 Да) (мелкие символы) переносятся через мембрану с одинаковой эффективностью; б — диффузия: перенос растворенного вещества через мембрану происходит за счет движения по градиенту концентрации от крови к диализату. Растворенные вещества с более низкой молекулярной массой (<500–1500 Да) (мелкие символы) проходят через мембрану легче, чем растворенные вещества с более высокой молекулярной массой (крупные символы) [191]

Диффузия — это метод транспортировки растворенных веществ, применяемый во время ГД. Принцип диффузии заключается в способ-