

На правах рукописи

ЕМЕЛЬЯНЦЕВ
Александр Александрович

ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ В
ДИАГНОСТИКЕ РАБДОМИОЛИЗА

14.01.13 – лучевая диагностика, лучевая терапия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Санкт-Петербург
2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном военном образовательном учреждении высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М.Кирова» Министерства обороны Российской Федерации.

Научный руководитель:

Железняк Игорь Сергеевич – доктор медицинских наук, доцент.

Официальные оппоненты:

Поздняков Александр Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской биофизики, заведующий отделением лучевой диагностики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации;

Ицкович Ирина Эммануиловна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Ведущая организация:

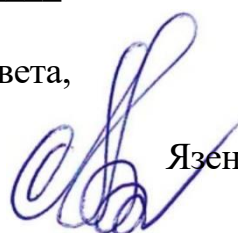
ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита диссертации состоится «24» сентября 2021 года в 11:00 на заседании диссертационного совета Д 215.002.11 в ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М.Кирова» Министерства обороны Российской Федерации (194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6).

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М.Кирова» Министерства обороны Российской Федерации.

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
доктор медицинских наук, доцент



Язенюк Аркадий Витальевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Рабдомиолиз – это типовой патологический процесс, характеризующийся миалгией, мышечной слабостью, повышением активности креатинфосфокиназы (КФК), уровня миоглобина крови и миоглобинурией (Jin J. et al., 2017). Рабдомиолиз по ряду источников встречается относительно редко (Слободянюк С.Н., 2013, Alpers J.P. et al., 2010, Safari S. et al., 2016). Однако, в связи с тем, что данная патология не является самостоятельной нозологической формой, а представляет собой один из синдромов обширного списка других заболеваний, сохраняя свои патофизиологические и морфологические основы, его общая распространённость может быть сильно занижена. В связи с недостаточно специфической клинической картиной существует проблема несвоевременной постановки первичного диагноза рабдомиолиза, что влечёт за собой развитие осложнений, жизнеугрожающих или негативно влияющих на реабилитацию (Alpers J.P. et al., 2010, Torres P.A. et al., 2015).

К осложнениям рабдомиолиза относят острое почечное повреждение, нарушения сердечного ритма, компартмент-синдром и компрессию сосудисто-нервных пучков. Повреждение почек развивается в 20% наблюдений, каждое четвёртое из которых приводит к летальному исходу (Safari S. et al., 2016, Sorrentino S.A. et al., 2011). При этом постнагрузочный и посттравматический рабдомиолиз развивается преимущественно у молодых, здоровых людей мужского пола с достаточным уровнем физической подготовки, при отсутствии анамнестических данных о патологии мышц или метаболических расстройствах. Таким образом, рабдомиолиз является актуальным заболеванием в военных и спортивных коллективах (Фёдорова А.А. и др., 2020, Alpers J.P. et al., 2010, Atias-Varon D. et al., 2017, Pereira F. et al., 2019).

Верификация рабдомиолиза осуществляется либо на основании выявления повышенного уровня миоглобина крови более 72 нг/мл (Залевская Н.Г., 2011) при отсутствии признаков повреждения миокарда, либо путём биопсии и морфологического исследования повреждённой мышцы (Bosch X. et al., 2009, Weber M.-A., 2014). Учитывая малый период полувыведения миоглобина из периферической крови (2–3 часа), определение миоглобинемии обладает низкой прогностической ценностью отрицательного результата (Фёдорова А.А. и др., 2020). Миоглобинурия развивается лишь в 19% наблюдений (Alpers J.P. et al., 2010). Для диагностики такого осложнения рабдомиолиза, как компартмент-синдром, применяется прямое инвазивное определение внутрифасциального давления в компартменте повреждённых мышц (Fitzgerald A. et al., 2000, Ji J., 2017). Биопсия является инвазивным методом, эффективность которого напрямую зависит от выбора места забора исследуемой ткани, что затруднительно без первичной визуализации повреждения (Connor A. et al., 2007).

Большинством авторов считается, что основным диагностическим маркером рабдомиолиза является повышение активности сывороточной КФК от 1000 до 10000 ЕД/л (Clarkson P. et al., 2002, Kenney K. et al., 2012, Safari S. et

al., 2016). При этом отмечается, что показатель КФК имеет невысокую специфичность к рабдомиолизу и может достигать достаточно высоких значений в норме и после физической нагрузки (Clarkson P. et al., 2002, Keltz E. et al., 2014, Pereira F. et al., 2019, Tazmini K. et al., 2017). Также восстановление активности КФК и уровня миоглобина крови до нормативных величин не свидетельствует о полном завершении патологического процесса и восстановлении мышечной ткани (Zhang L.-Y. et al., 2011).

Лучевые методы диагностики рабдомиолиза мало используются в общепринятой практике и приводятся в отечественной литературе в виде описания единичных клинических наблюдений (Ольхова Е.Б. и др., 2017, Халидуллина О.Ю., 2018). При этом в ряде работ указывается на перспективное использование ультразвукового исследования (УЗИ) (Bianchi S. et al., 2007, Carrillo-Esper R. et al., 2016), компьютерной томографии (КТ) (Mehta P. et al., 2017) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) (Keltz E. et al., 2014, Moratalla M.V. et al., 2008) в качестве методов ранней диагностики рабдомиолиза и его осложнений.

Таким образом, рабдомиолиз является заболеванием, способным снизить трудоспособность пациентов молодого возраста на фоне полного физического благополучия. При этом в диагностике рабдомиолиза существуют проблемы своевременной постановки диагноза клиническими и лабораторными методами, что требует включения в алгоритм обследования лучевой визуализации.

Степень разработанности темы. Возможности лучевых методов в диагностике заболеваний мышечной ткани достаточно широко освещены в мировой и отечественной литературе. УЗИ используется в качестве ургентного метода для быстрой оценки скелетных мышц чаще всего на предмет травматических изменений (Weber M.-A., 2014). Количественная методика УЗИ (эластография сдвиговой волны (ЭСВ)) широко используется для оценки сухожилий и связок, однако исследования мышечной ткани представлены в единичных работах на небольшом объёме материала (Agten C.A. et al., 2016, Chino K. et al., 2012, Dirrichs T. et al., 2016).

Мышечный отёк является наиболее распространённым признаком заболеваний скелетных мышц среди всех семиотических МР-вариантов. (Фёдорова А.А. и др., 2020, Keltz E. et al., 2014). Отёчные изменения отражают активность патологического процесса, что позволяет использовать МРТ как метод мониторинга динамики течения заболевания. Также отёк мышечной ткани может быть проявлением функциональных изменений мышц после физических нагрузок (Varghese J. et al., 2015). Для МРТ характерно небольшое количество специфических признаков позволяющих дифференцировать конкретные заболевания скелетных мышц (Boutin R.D. et al., 2015, Connor A. et al., 2007, Huang V.K. et al., 2010, Saleh E.S. et al., 2013). Поэтому проблемы дифференциальной диагностики заболеваний, проявляющихся отёком мышечной ткани, в том числе рабдомиолиза, а также отсутствия объективных критериев полного восстановления скелетной мышцы остаются актуальными.

В данной работе под термином «мышечный отёк» мы подразумевали все заболевания скелетных мышц, проявляющиеся преимущественно отёчными изменениями мышечной ткани (травматические, воспалительные заболевания скелетных мышц и постнагрузочный «физиологический» отёк), исключая рабдомиолиз.

Одним из наиболее перспективных направлений в повышении диагностических возможностей МРТ является количественная оценка МР-данных (Agten C.A. et al., 2016, Fu C. et al., 2020, Kim H.K. et al., 2010). МР-релаксометрия применялась для оценки состояния скелетной мышечной ткани при некоторых наследственных миопатиях (Сулов В.М. и др., 2019, Kim H.K. et al., 2010), а также для оценки физиологического отёка скелетных мышц при физических нагрузках и после отдыха (Varghese J. et al., 2015). Учитывая, что время релаксации напрямую зависит от выраженности отёчных изменений, измерение величин T1-, T2- и T2*-релаксации (T1, T2 и T2*) позволяет количественно оценить активность патологического процесса. Однако, и в зарубежной, и в отечественной литературе отсутствуют работы по использованию количественной МРТ в диагностике и оценке динамики течения рабдомиолиза в клинической практике.

Таким образом, повышение эффективности ранней диагностики рабдомиолиза, мониторинга течения заболевания и выявления осложнений с помощью лучевых методов визуализации является актуальной научной задачей.

Цель исследования. Определить возможности качественных и количественных методик МРТ в диагностике острого рабдомиолиза и оценке восстановления мышечной ткани.

Задачи исследования:

1. Усовершенствовать методику МР-диагностики острых заболеваний, проявляющихся отёком мышечной ткани.
2. Уточнить лучевую семиотику рабдомиолиза для дифференциальной диагностики с заболеваниями, проявляющимися отёком мышечной ткани.
3. Провести сравнительный анализ диагностической эффективности различных методик МРТ и УЗИ в выявлении рабдомиолиза.
4. Определить возможности количественной МРТ в оценке регресса отёчных изменений мышечной ткани в процессе восстановления.

Научная новизна. Усовершенствована методика МР-сканирования при остром поражении мышечной ткани и модифицированы импульсные МР-последовательности для количественного измерения T1, T2 и T2* с использованием свободного программного обеспечения.

Впервые были применены методики МР-сканирования всего тела и релаксометрии для диагностики и мониторинга течения острых заболеваний, проявляющихся преимущественно отёком мышечной ткани.

Определены паттерны повреждения мышечной ткани при постнагрузочном рабдомиолизе (ПНР), которые являются его характерным семиотическим признаком.

Впервые была проведена динамическая количественная МР-оценка состояния мышечной ткани пациентам с рабдомиолизом в процессе выздоровления.

Внедрён в клиническую практику алгоритм дифференциальной диагностики рабдомиолиза и заболеваний, проявляющихся отёком мышечной ткани, с использованием лучевых методов диагностики.

Теоретическая и практическая значимость. Разработанная методика МР-сканирования с использованием релаксометрии позволяет дифференцировать рабдомиолиз с другими заболеваниями, проявляющимися преимущественно отёком мышечной ткани, а также оценивать активность патологического процесса в процессе выздоровления.

Разработанная методика МР-сканирования позволяет неинвазивно диагностировать компартмент-синдром на ранних стадиях заболевания и принимать решение о необходимости проведения фасциотомии.

Установлено, что выявленные МР-паттерны повреждения мышечной ткани являются патогномичным признаком ПНР.

Установлено, что наиболее эффективной методикой диагностики рабдомиолиза является количественная МРТ с применением логит-модели. УЗИ рекомендуется использовать только при наличии противопоказаний к МР-исследованию. КТ не позволяет дифференцировать рабдомиолиз и другие заболевания, проявляющиеся мышечным отёком.

Доказано, что количественную МРТ можно использовать в мониторинге регресса патологических изменений мышечной ткани и валидации её полного восстановления.

Усовершенствованная методика может быть воспроизведена на любом аппарате МРТ путём настройки импульсных последовательностей и обработкой данных в свободно распространяемом программном обеспечении.

Методология и методы исследования. Объект исследования: пациенты с заболеваниями скелетных мышц, проявляющимися отёком мышечной ткани, в том числе и с рабдомиолизом, а также контрольная группа для сравнения результатов.

Предмет исследования: лучевая семиотика скелетных мышц у пациентов с рабдомиолизом и его осложнениями.

Проведён анализ отечественной и зарубежной литературы, посвящённой проблеме диагностики заболеваний, проявляющихся преимущественно отёком скелетных мышц, в частности, рабдомиолиза.

Были усовершенствованы методики МРТ и УЗИ для диагностики отёка мышечной ткани, включающие измерение количественных показателей (релаксометрия и ЭСВ) и доказана их информативность. Всего было изучено 174 источника литературы, из них 27 – отечественных, 147 – зарубежных.

Был проведён сравнительный анализ основных диагностических параметров МРТ и УЗИ в выявлении рабдомиолиза при стандартном исследовании и с применением количественных методик у пациентов основной группы.

Исследованы возможности метода МРТ в оценке восстановления повреждённой мышечной ткани и в определении пороговых значений данных МР-релаксометрии, позволяющих пациенту вернуться к нормальной физической активности.

По результатам исследования был разработан алгоритм лучевой диагностики заболеваний мышечной ткани, включающий количественные методики.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Усовершенствованная методика МР-исследования позволяет диагностировать острые заболевания, проявляющиеся отёком мышечной ткани.

2. Методы лучевой диагностики позволяют дифференцировать рабдомиолиз от других патологических процессов за счёт выявления в мышцах изменения интенсивности сигнала на МРТ и изменения эхогенности на УЗИ.

3. МРТ-модель логистической регрессии с использованием T1, T2, T2* является наиболее эффективной методикой лучевой диагностики рабдомиолиза.

4. Уменьшение времени релаксации мышечной ткани в течение заболевания отражает процесс восстановления состояния скелетных мышц и является объективным критерием возможности возвращения пациента к физическим нагрузкам.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Степень достоверности результатов проведённого исследования определена репрезентативным и достаточным объёмом выборки пациентов (n=90), использованием современных методов лучевой диагностики (МРТ с индукцией магнитного поля 1,5 Тл; УЗИ с применением ЭСВ), а также обработкой полученных данных адекватными методами математической статистики.

Материалы диссертации были представлены в виде докладов на Конгрессе Российского общества рентгенологов и радиологов (г. Москва, 2019), Межрегиональной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию Смоленского государственного медицинского университета (г. Смоленск, 2019), научно-практической конференции «Немёновские чтения», посвящённой 90-летию кафедры рентгенологии и радиологии Военно-медицинской академии имени С.М.Кирова (г. Санкт-Петербург, 2019), научно-практической конференции с международным участием (on-line) «Лучевая диагностика – Смоленск 2020», заседаниях Санкт-Петербургского Радиологического общества (г. Санкт-Петербург, 2020, 2021), Невском Радиологическом Форуме (г. Санкт-Петербург, 2021).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования. Обследовано 90 пациентов с подозрением на заболевания мышц. Всем пациентам выполнен лабораторный анализ активности КФК и уровня миоглобина крови, МРТ и УЗИ поражённых скелетных мышц. В 10 случаях с подозрением на повреждение костных структур было выполнено КТ-исследование.

Была выделена основная группа (49 пациентов) с одним или несколькими объективными признаками повреждения или функционального изменения состояния мышечной ткани: повышением активности КФК более 200 ЕД/л, повышением уровня миоглобина крови, наличием гиперинтенсивного сигнала от мышечной ткани на изображениях импульсных последовательностей МРТ, чувствительных к жидкости, наличием гиперэхогенной структуры скелетных мышц при УЗИ.

Последующая верификация рабдомиолиза осуществлялась на основании повышения уровня миоглобина сыворотки крови более 72 нг/мл и в отдельных случаях на основании результатов биопсии мышцы. Пациенты с рабдомиолизом составили подгруппу А, пациенты с другими заболеваниями и состояниями скелетных мышц (воспалительные миопатии, травмы и ушибы мышц, синдром отсроченной мышечной боли, физиологический постнагрузочный отёк) вошли в подгруппу Б. Остальные обследованные пациенты составили контрольную группу.

УЗ-сканирование осуществлялось в В-режиме в продольной и поперечной плоскостях в области поражения и контралатеральных отделах для сравнения. Заключение выносилось на основании выявленных прямых и косвенных УЗ-признаков повреждения скелетной мышцы. ЭСВ поражённых мышц проводили в положении лёжа, в расслабленном состоянии. Количественные характеристики ЭСВ выражались в виде скорости боковой волны (V) в м/с и значениях модуля Юнга (E) в кПа. В каждой поражённой мышце выделялось несколько областей интереса (от 3 до 5 в зависимости от объёма мышцы) с вычислением среднего значения эластичности.

КТ проводилось в положении лёжа на спине, с захватом всех мышечных структур поражённой области.

Усовершенствованная методика МР-исследования скелетных мышц состояла из трёх этапов: обзорного сканирования всего тела во фронтальной плоскости последовательностью STIR, прицельного сканирования выявленных повреждённых областей с помощью традиционных импульсных последовательностей: T1-ВИ (взвешенное изображение), T2-ВИ, STIR, DWI в трёх взаимно перпендикулярных плоскостях на уровне повреждения без применения контрастных веществ и применения МР-программ количественной оценки мышечной ткани.

Для количественной оценки времени релаксации мышечной ткани использовались модифицированные импульсные последовательности:

1) T1 MAP – последовательность инверсии-восстановления с получением изображений с малыми значениями величины TR (минимальное) и TE (2 мс) и

переменными значениями величины T1 (30 мс, 100 мс, 150 мс, 180 мс, 650 мс, 800 мс, 1200 мс, 2500 мс), угол отклонения – 90°, NSA – 1;

2) T2w MSME SE (multislice, multiecho, spin-echo) – последовательность спинового эха с получением изображений с высокой величиной TR (2500 мс) и переменными величинами TE (8 мс, 16 мс, 24 мс, 32 мс, 40 мс, 48 мс, 56 мс, 64 мс, 72 мс, 80 мс, 88 мс, 96 мс, 104 мс, 112 мс, 120 мс, 128 мс, 136 мс, 144 мс, 152 мс, 160 мс). Угол отклонения – 90°, NSA – 1. Для снижения удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии использовался инвертирующий 120° импульс. Время сканирования было уменьшено за счёт использования технологии параллельного сбора данных;

3) T2* MS ME FFE (multislice, multiecho, fast-field echo) – последовательность градиентного эха с получением изображений с высокой величиной TR (700 мс) и переменными величинами TE (4 мс, 7 мс, 10 мс, 13 мс, 16 мс, 19 мс, 22 мс, 25 мс). Угол отклонения – 12°, NSA – 1.

В случаях выявления физиологического постнагрузочного отёка (проведение МР-исследования непосредственно после выполнения физической нагрузки) выполнялось дополнительное МР-сканирование через 1 час отдыха с использованием протоколов STIR и количественной МРТ.

При выявлении рабдомиолиза второго типа (с наличием очагов деструкции мышцы) величины T1 исключались статистического анализа в связи с неоднородностью структуры ткани, приводящей к большому разбросу значений.

На основе данных, полученных с помощью последовательностей МР-релаксометрии, были построены карты T1, T2, и T2* для срезов в аксиальных плоскостях в исследуемых областях. Карты генерировались в свободном кроссплатформенном программном обеспечении MRMap 1.4 (лицензия GNU General Public License), работающего на базе программного языка IDL (Interactive Data Language) на платформе IDL Virtual Machine 8.6. Данное программное обеспечение было разработано для исследовательских целей на фантомах (Messroghli D.R. et al., 2010) и нами было впервые применено для оценки мышечной ткани. Количественные данные проверялись вручную с помощью электронных таблиц MS Excel.

Таким образом, сканирование всего тела позволило исключить пропуск мышечного отёка при неуточнённой локализации. С помощью количественной МР-оценки были определены пороги значений T1, T2 и T2*, характеризующие рабдомиолиз с высокими параметрами чувствительности и специфичности, а также позволяющими сделать вывод о полном восстановлении мышечной ткани в процессе выздоровления.

Проанализированы данные анамнеза и клинической картины, лабораторные показатели крови, результаты полуколичественной оценки исследований, полученные значения времени релаксации, коэффициенты диффузии воды, показатели ЭСВ с использованием адекватных методов статистической обработки.

Для оценки диагностических возможностей комплексного использования всех количественных характеристик МРТ и УЗИ были разработаны логит-модели на основе метода максимального правдоподобия, где результатом модели являлось определение величины P_+ , которая обозначает вероятность диагноза рабдомиолиза. В качестве параметра, подтверждающего событие, использовался факт повышения уровня миоглобина крови больше 72 нг/мл.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

КТ-семиотика рабдомиолиза. У всех 10 пациентов визуальных признаков повреждения структуры мышечной ткани выявлено не было. В 5 случаях определялось снижение рентгеновской плотности поражённой мышечной ткани по сравнению с непоражённой. В 5 случаях отмечалась нечёткость контуров мышц, из них в 3 случаях было выявлено наличие скопления жидкости в фасциальных футлярах. Таким образом, чувствительность метода в выявлении отёчных заболеваний мышечной ткани составила 50%. По причине низкой чувствительности специфичность метода не оценивалась.

Выявлено статистически значимое ($p < 0,01$) снижение медиан (Me) рентгеновской плотности отёчной мышечной ткани $Me - 54$ [50; 58] по сравнению с неизменённой $Me - 62$ [56; 63] у каждого отдельного пациента, что составляет 14% [9; 21]. Но при этом отмечается широкое пересечение 95%-х доверительных интервалов медиан рентгеновской плотности всей выборки отёчной $Me - 55$ [43; 66] и неповреждённой $Me - 58$ [49; 68] мышечной ткани, что не позволяет выделить пороговые значения рентгеновской плотности мышечной ткани для выявления мышечного отёка.

УЗИ-семиотика рабдомиолиза. Область интереса для проведения УЗИ определялась на основании анамнеза, жалоб пациента, а также локализации болевого синдрома. В случае выявления изменений на МРТ проводилось повторное УЗ-сканирование с выполнением ЭСВ. К ультразвуковым признакам рабдомиолиза относили диффузное выраженное повышение эхогенности (однородное или неоднородное), нарушение поперечной исчерченности структуры мышцы и большой объём (более 30%) поражения мышечной ткани (Рисунок 1). Диагноз «рабдомиолиз» выставлялся при наличии всех указанных признаков.

По данным УЗИ рабдомиолиз был диагностирован в 25 случаях. После получения результатов исследования миоглобина крови было выявлено 5 пациентов с ложноотрицательным и 14 пациентов с ложноположительным результатом на УЗИ. Пропущенные патологические изменения при УЗИ были обусловлены малой выраженностью отёчных изменений. Таким образом, чувствительность метода УЗИ составила 68%, специфичность 57%, точность 62%.

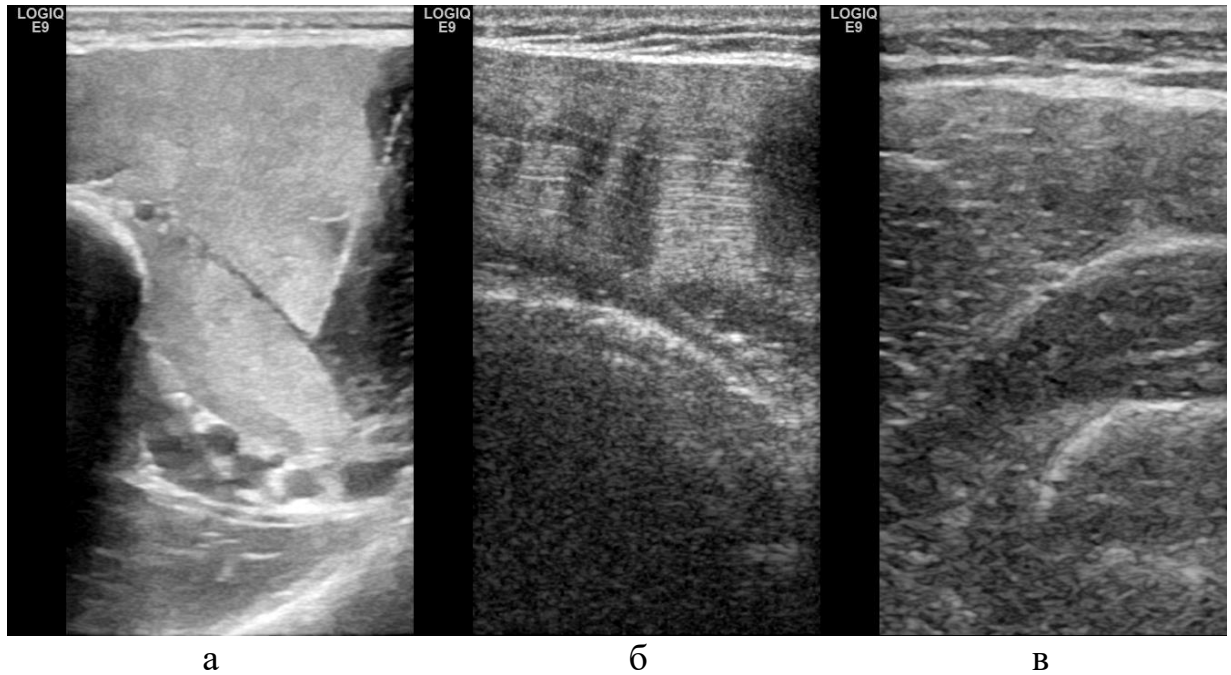


Рисунок 1 – Эхограммы рабдомиолиза скелетных мышц различных анатомических областей: а – наружной и внутренней головок трёхглавой мышцы, б – мышцы, разгибающей спину, в – наружной широкой мышцы бедра

МРТ-семиотика рабдомиолиза. По результатам выполненных исследований в качестве МР-симптомов рабдомиолиза были определены: гиперинтенсивный сигнал от фасций, гиперинтенсивный сигнал от подкожно-жировой клетчатки, наличие скопления жидкости в области межмышечных перегородок, отёчные изменения подкожно-жировой клетчатки, очаговый гиперинтенсивный сигнал от мышечной ткани на T1-ВИ, вызванный внутримышечными кровоизлияниями, а также скоплением продуктов некроза. Наиболее часто встречающиеся МР-признаки обладают либо низкой чувствительностью (отёк подкожно-жировой клетчатки), либо низкой специфичностью (гиперинтенсивный сигнал от фасций на STIR) к рабдомиолизу.

Один из МР-симптомов: очаговый неоднородный гиперинтенсивный сигнал от мышечной ткани – позволяет подразделить все случаи рабдомиолиза на два типа. При отсутствии указанного признака делается заключение о первом типе рабдомиолиза, при наличии – о втором.

В нашем исследовании было выявлено два пациента с осложнением рабдомиолиза в виде острого компартмент-синдрома мышц голени. К его МР-признакам относили: развитие процесса в замкнутых фасциальных футлярах, таких как компартменты голени и предплечий, выбухание контуров компартментов, округлые контуры компартментов в аксиальных плоскостях, асимметричность толщины жировых межмышечных перегородок вследствие их сдавления, появление неоднородного очагового гиперинтенсивного сигнала на T1-ВИ, отёчность подкожно-жировой клетчатки в области компартмента.

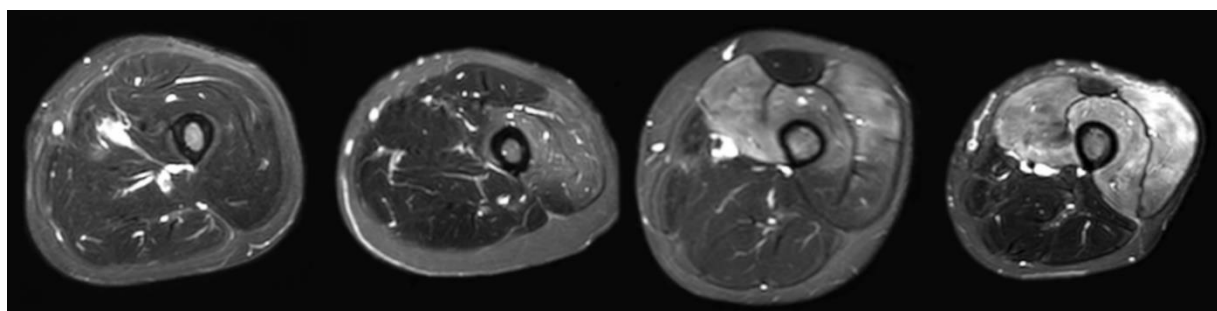
МР-признаки рабдомиолиза второго типа и компартмент-синдрома характеризовались 100% специфичностью. Однако при этом данные признаки

обладают низкой чувствительностью к рабдомиолизу (19% и 13% соответственно).

Для повышения специфичности метода нами была разработана методика полуколичественной оценки отёка мышечной ткани на изображениях последовательности STIR. Для каждой мышцы визуально сравнивали интенсивность сигнала от мышечной ткани с сигналом от подкожно-жировой клетчатки и глубоких вен, а также объём повреждения относительно всего объёма (Таблица 1, Рисунок 2).

Таблица 1 – Полуколичественная шкала оценки степени выраженности отёка мышечной ткани

Степень выраженности отёка	МР-признаки	
0	Нормальная интенсивность сигнала от мышечной ткани	
1	Гиперинтенсивный сигнал любой степени выраженности	Поражение до 33% объёма отдельной мышцы
2А	Незначительно или умеренно повышенная интенсивность сигнала	Поражение от 34% до 66% объёма отдельной мышцы
2Б	Незначительно или умеренно повышенная интенсивность сигнала	Поражение более 67% объёма отдельной мышцы
2В	Выраженно повышенная интенсивность сигнала	Поражение от 34% до 66% объёма отдельной мышцы
3	Выраженно повышенная интенсивность сигнала	Поражение более 67% объёма отдельной мышцы



а

б

в

г

Рисунок 2 – Изображения протокола STIR в аксиальной плоскости на уровне средних третей левых бёдер с различной выраженностью сигнала от мышечной ткани: а – нормальная интенсивность (меньше, чем подкожно-жировой клетчатки), б – незначительно повышенная интенсивность (сравнима с интенсивностью подкожно-жировой клетчатки), в – умеренно повышенная интенсивность (больше, чем интенсивность подкожно-жировой клетчатки), г – выраженно повышенная (сравнима с интенсивностью крови в венах)

При группировке степеней отёка в подгруппе А статистически значимые отличия определяются при сравнении частоты встречаемости 1+2А степеней и 2Б+2В+3 степеней ($\chi^2 = 0,608$, $df = 1$, $p = 0,034$). Таким образом, для рабдомиолиза характерны отёчные изменения 2Б, 2В и 3 степени выраженности.

С использованием полуколичественной методики МРТ рабдомиолиз был выявлен у 24 пациентов. Всего был получен 1 ложноотрицательный результат и 9 ложноположительных результатов. Чувствительность методики составила 93%, специфичность 72%, точность 80%.

Особенности МР-семиотики постнагрузочного рабдомиолиза. При анализе вовлечения скелетных мышц в патологический процесс (рабдомиолиз) были выявлены закономерности, описанные нами как паттерны, которые соответствовали определённым видам физической активности (Рисунок 3).

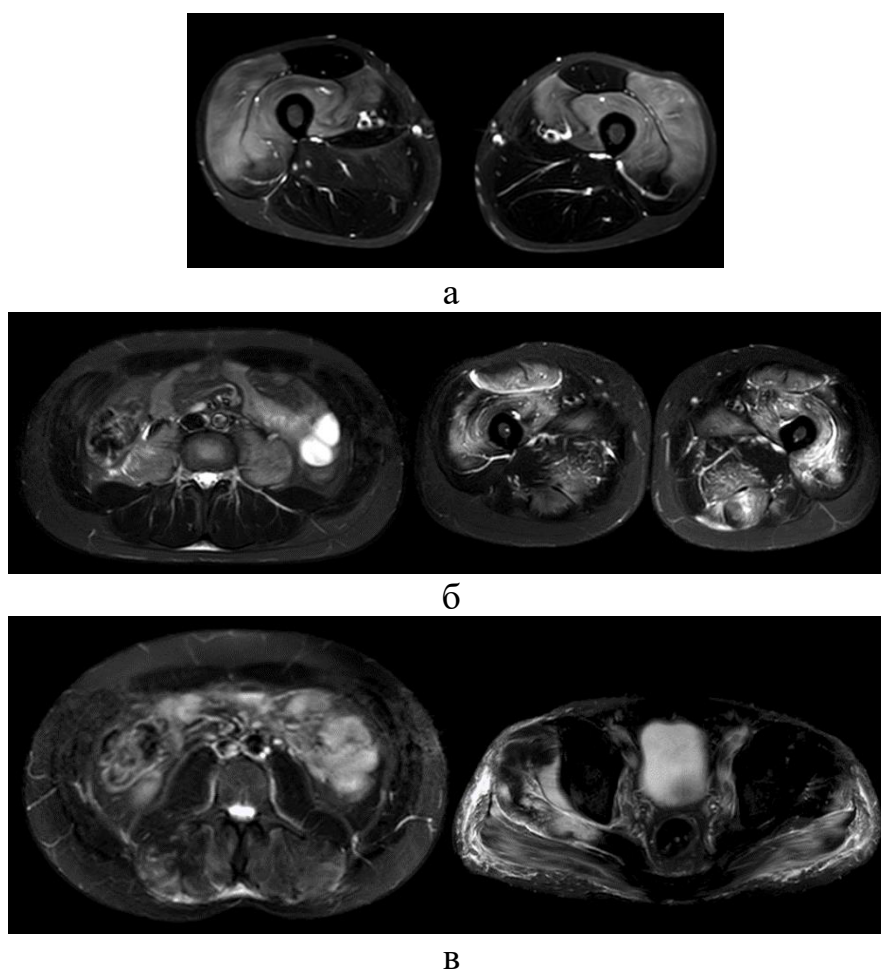


Рисунок 3 – Паттерны ПНР: а – приседания, б – бега, в – осевой нагрузки

Одним из воспроизводимых МР-паттернов являлось распределение отёчных изменений в широких мышцах бедра при выполнении приседаний с нагрузкой. Отмечается характерная структура повреждения: однородный гиперинтенсивный сигнал мышечных волокон на STIR и T2-ВИ от наружной, промежуточной и внутренней широких мышц, с 2Б-3 степенью отёчных изменений, симметричный с обеих сторон и изоинтенсивный сигнал от волокон прямых мышц бёдер. При этом все группы мышц характеризуются изоинтенсивным сигналом на T1-ВИ.

Другой характерной картиной ПНР является поражение мышц после аэробных нагрузок. На МР-изображениях, чувствительных к жидкости, выявлялось повреждение с вовлечением всех мышц бедра и пояснично-подвздошных мышц на фоне интактных дорсальных мышц спины, что составляет паттерн бега.

Третьей причиной развития ПНР являлось занятие гиревым спортом с осевой нагрузкой. При этом поражались дорсальные мышцы спины и ягодичные мышцы с отсутствием вовлечения в патологический процесс пояснично-подвздошных мышц. Повреждения мышечной ткани отличались симметричностью и степенью выраженности 2Б и 2В.

В нашем исследовании у всех 7 пациентов с соответствующим паттерном был подтверждён рабдомиолиз. Среди пациентов подгруппы Б описанных паттернов повреждения скелетных мышц выявлено не было.

Таким образом, несмотря на высокую диагностическую эффективность (в нашем исследовании специфичность ПНР при выявлении паттернов составила 100%), описанные паттерны являются частным случаем рабдомиолиза и могут применяться только при наличии всех указанных условий: наличие соответствующего анамнеза, выявление описанного распределения поражения мышц с выраженностью отёчных изменений 2Б и более. Другие МР- и УЗИ-признаки не позволяют достоверно выявить рабдомиолиз. Для повышения информативности методов нами были применены методики количественной оценки мышечной ткани при рабдомиолизе и мышечном отёке.

Результаты лучевых методов диагностики рабдомиолиза с использованием методик количественной оценки. При ЭСВ значения коэффициентов жёсткости в областях отёчных изменений у пациентов подгруппы А и Б статистически значимо различались (U -критерий Манна-Уитни, $p < 0,0001$). Тогда как между величинами коэффициентов жёсткости в подгруппе Б и контрольной группе статистически значимых различий не выявлено (U -критерий Манна-Уитни, $p > 0,05$).

Таким образом, методика ЭСВ позволяет дифференцировать рабдомиолиз от мышечного отёка и нормальной скелетной мышцы.

При МРТ мышечный отёк в подгруппе Б основной группы был обусловлен различными нозологическими формами, в связи с чем было проведено сравнение величин T1, T2 и T2* мышечной ткани при этих патологических изменениях. Статистически значимых различий значений T1, T2, T2* между заболеваниями мышц, проявляющихся преимущественно мышечным отёком, выявлено не было (H -критерий Краскела-Уоллиса, $df = 3$, $p > 0,05$).

Таким образом, методика релаксометрии может быть применена для количественного анализа времени релаксации в скелетных мышцах независимо от этиологии заболевания.

В 5 случаях (10%) гиперинтенсивный сигнал от мышечной ткани на изображениях импульсных последовательностей, чувствительных к воде, был обусловлен физиологическим отёком после выполнения физической нагрузки

(бег на длинные дистанции). При этом во всех случаях изменения были выявлены в мышцах бедра передней группы. При контрольном исследовании через один час отдыха отмечалось восстановление интенсивности сигнала от указанных групп скелетных мышц. При сравнительном анализе данных T1, T2 и T2* с использованием непараметрического T-критерия Уилкоксона отмечается статистически значимое уменьшение времени релаксации мышечной ткани ($p < 0,001$) непосредственно после физической нагрузки и после отдыха. Также отмечается отсутствие статистически значимых отличий значений T1, T2 и T2* ткани скелетных мышц (U-критерий Манна-Уитни, $p = 0,092$; $p = 0,251$; $p = 0,646$ соответственно) пациентов с физиологическим отёком после отдыха и пациентов контрольной группы.

Таким образом, для постнагрузочного физиологического отёка характерно восстановление T1, T2 и T2* мышечной ткани до уровня контрольной группы через один час после отдыха.

При попарном сравнении величин времени релаксации среди пациентов подгрупп А, Б и контрольной группы выявлены статистически значимые различия (U-критерий Манна-Уитни с поправкой Бонферрони, $p < 0,0001$): значения времени релаксации при рабдомиолизе достоверно больше, чем при мышечном отёке. При этом T1, T2 и T2* пациентов подгруппы Б статистически значимо больше, чем в контрольной группе (U-критерий Манна-Уитни с поправкой Бонферрони, $df = 2$, $p < 0,0001$).

Таким образом, T1, T2 и T2* мышечной ткани увеличивается при отёчных изменениях. При этом указанные величины при рабдомиолизе значимо больше, чем при остальных заболеваниях, проявляющихся мышечным отёком.

Для сравнения диагностической эффективности каждого из количественных критериев МРТ и УЗИ и определения точек отсечения для диагностирования рабдомиолиза был проведён ROC-анализ с использованием данных основной группы. При этом последовательно оценивались значения времени релаксации и ЭСВ, а в качестве распределяющего фактора использован факт выявления у пациента миоглобинемии более 72 нг/мл.

Из полученных данных следует, что максимальным значением площади под кривой обладает T2 – 0,947. При попарном сравнении AUC отмечается, что значения площади под кривыми каждого времени релаксации статистически значимо больше, чем значения AUC ЭСВ ($p < 0,0001$). При этом отличия AUC T1, T2 и T2* между собой статистически не значимы ($p = 0,6667$, $p = 0,1189$, $p = 0,1062$).

Критерий Юдена позволил определить порог отсечения для выявления рабдомиолиза при T2 > 68 мс с высокой диагностической эффективностью. Также отмечается незначительное повышение чувствительности и специфичности УЗИ с применением ЭСВ, выраженной в м/с.

Для определения критических параметров остальных количественных характеристик был использован метод определения оптимального порога отсечения.

Основным требованием к количественным МРТ и УЗИ было повышение специфичности без снижения чувствительности методики. Исходя из этих требований для T1, T2* и ультразвуковой жёсткости, выраженной в кПа с помощью интерактивных диаграмм зависимости чувствительности и специфичности определены пороги отсечения с соблюдением баланса между этими характеристиками. Оптимальные пороги отсечения всех исследуемых методик представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оптимальные пороги отсечения маркеров рабдомиолиза согласно требованиям повышения специфичности качественных методик

	Порог отсечения	Чувствительность/ специфичность/точность количественной методики, %	Чувствительность/ специфичность/точность качественной методики, %
T1	1070 мс	84/82/81	93/72/80
T2	68 мс	93/81/87	93/72/80
T2*	43 мс	85/86/86	93/72/80
V	1,86 м/с	75/61/68	68/57/62
E	9,83 кПа	67/64/66	68/57/62

Из данных таблицы следует, что применение количественной методики при сохранении высокой чувствительности позволяет повысить специфичность диагностики рабдомиолиза по сравнению с качественной методикой при использовании T2 (порог отсечения – 68 мс) на 9% (χ^2 МакНемара, $p = 0,0313$), точности на 7% χ^2 МакНемара, $p = 0,0078$).

T2* (порог отсечения – 43 мс) при незначительном снижении чувствительности (χ^2 МакНемара, $p = 0,99$) статистически значимо повышает специфичность на 14% (χ^2 МакНемара, $p = 0,0078$).

Диагностические характеристики T1 (порог отсечения – 1070 мс), а также данных ЭСВ, статистически значимо не отличаются от качественных методик (χ^2 МакНемара, $p > 0,05$).

Таким образом, для диагностики рабдомиолиза возможно использование величин T2 или T2*, как самостоятельных критериев, эффективность которых выше, чем у качественных методик.

Для повышения диагностической эффективности выявления рабдомиолиза с помощью комплексного использования всех количественных параметров МРТ и УЗИ был проведён логистический бинарный регрессионный анализ с созданием трёх моделей логистической регрессии:

- УЗИ-модель с использованием только показателей ЭСВ;
- МРТ-модель с использованием только времени релаксации;
- комплексная модель (МРТ+УЗИ), совмещающая все характеристики.

Для определения наиболее эффективной логит-модели был проведён сравнительный анализ ROC-кривых, который включал в себя прогнозируемые вероятности полученных моделей УЗИ, МРТ, комплексной модели, а также значения T2, как наиболее эффективного диагностического критерия. При проведении попарного сравнительного ROC-анализа полученных моделей

были получены следующие результаты: наибольшим значением AUC обладают комплексная модель и МРТ-модель. УЗ-модель являлась наименее диагностически эффективной (Таблица 3).

Таблица 3 – Статистические показатели диагностических возможностей полученных моделей в выявлении рабдомиолиза

Параметры диагностического теста	T2	МРТ-модель	УЗ-модель	Комплексная модель
Чувствительность, %	93	98	94	99
Специфичность, %	81	78	45	77
Точность, %	87	94	80	93
AUC	0,947	0,95	0,692	0,961

Из полученных данных определяется, что комплексная модель не обладает существенными преимуществами в диагностической эффективности перед МРТ-моделью и T2 и требует применения двух диагностических методов. Использование МРТ-логит модели за счёт повышения показателей чувствительности и специфичности позволяет повысить точность диагностики рабдомиолиза на 14 % (χ^2 МакНемара, $p = 0,0156$) по сравнению с качественной методикой.

Таким образом, нами была уточнена и описана лучевая семиотика рабдомиолиза. Качественные методики МРТ и УЗИ не позволяют диагностировать рабдомиолиз с высокой эффективностью. Количественные методики позволяют повысить чувствительность и специфичность лучевой диагностики рабдомиолиза, среди которых самой информативной является разработанная логит-модель с использованием T1, T2, T2*.

Оценка регресса отёчных изменений мышечной ткани методом количественной МРТ. В исследуемой группе пациентов с рабдомиолизом релаксометрия также применялась в качестве методики динамической оценки регресса патологических изменений. Отмечено статистически значимое снижение величин T1, T2, T2* от скелетных мышц при рабдомиолизе на 9 [7; 12] сутки заболевания (при нормализации лабораторных показателей крови), а также через 1 месяц после первичного обследования (T-критерий Уилкоксона $p < 0,0001$).

Для наглядной визуализации на Рисунке 4 представлены цветные параметрические карты времени релаксации пациента с рабдомиолизом мышц бёдер первого типа.

Для выявления взаимосвязи между T1, T2, T2* и основными лабораторными маркерами рабдомиолиза нами был проведён ранговый корреляционный анализ. Отмечаются положительные линейные корреляционные взаимосвязи средней и высокой силы ($p < 0,01$) с максимальными значениями между T2 и уровнем активности КФК ($r^s = 0,797$), T1 и уровнями АЛТ и АСТ ($r^s = 0,838$; $r^s = 0,816$ соответственно), а также T2* и уровнем миоглобина ($r^s = 0,707$).

Всем 16 пациентам с рабдомиолизом были проведены контрольные МР-исследования с проведением релаксометрии в поражённых мышцах через 30–

35 суток после начала заболевания после разрешения клинических проявлений заболевания. Результаты релаксометрии мышечной ткани у пациентов после полного клинического выздоровления не отличались статистически значимо от результатов контрольной группы (U -критерий Манна-Уитни, $p > 0,05$).

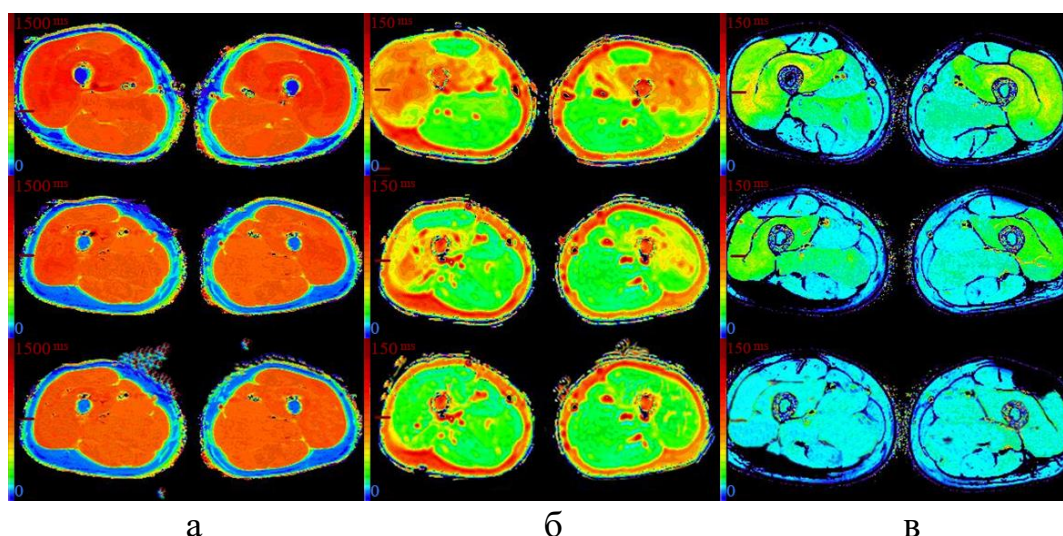


Рисунок 4 – Параметрические цветные карты времени релаксации при рабдомиолизе наружных широких, промежуточных широких и внутренних широких мышц бёдер с обеих сторон: а – T1, б – T2, в – T2*. Верхний ряд – исследование при поступлении, средний ряд – контроль на 7 день заболевания, нижний ряд – исследование при полном клиническом выздоровлении

Таким образом, измерение показателей релаксометрии мышечной ткани позволяет контролировать процесс восстановления скелетных мышц при оценке динамики заболевания и после физической нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании нами была усовершенствована методика МР-диагностики при подозрении на острую мышечную патологию. Внедрение предварительного обзорного сканирования всех мышц позволило исключить пропуск заболевания. Внедрение количественных методик позволило повысить чувствительность, специфичность и точность диагностики рабдомиолиза, а также оценить восстановление мышечной ткани в процессе выздоровления.

Также было доказано, что несмотря на бóльшую эффективность количественных лучевых методик, выявление характерного паттерна ПНР позволяет сделать вывод о наличии рабдомиолиза уже на этапах обзорного или прицельного сканирования.

При невозможности проведения МРТ, наиболее информативной методикой лучевой диагностики рабдомиолиза является УЗИ с использованием ЭСВ, выраженной в измерении скорости боковой волны.

На основании результатов нашего исследования был разработан следующий алгоритм диагностики пациентов, поступающих с подозрением на рабдомиолиз (Рисунок 5).

После анализа анамнестических сведений, клинической картины и забора крови на лабораторные маркеры рабдомиолиза пациенту рекомендуется выполнять МР-сканирование скелетных мышц по усовершенствованной методике.

В случаях отсутствия паттерна ПНР заключение рабдомиолиза выставляется при получении в разработанной МРТ-модели значения $P_+ \geq 0,5$ с использованием абсолютных значений T1, T2 и T2*. При необходимости сокращения времени исследования для пациентов в тяжёлом состоянии допустимо измерение только T2 с пороговым значением для рабдомиолиза более 68 мс. При $P_+ < 0,5$ (T2 менее 68 мс) делается заключение о наличии заболевания, проявляющегося мышечным отёком.

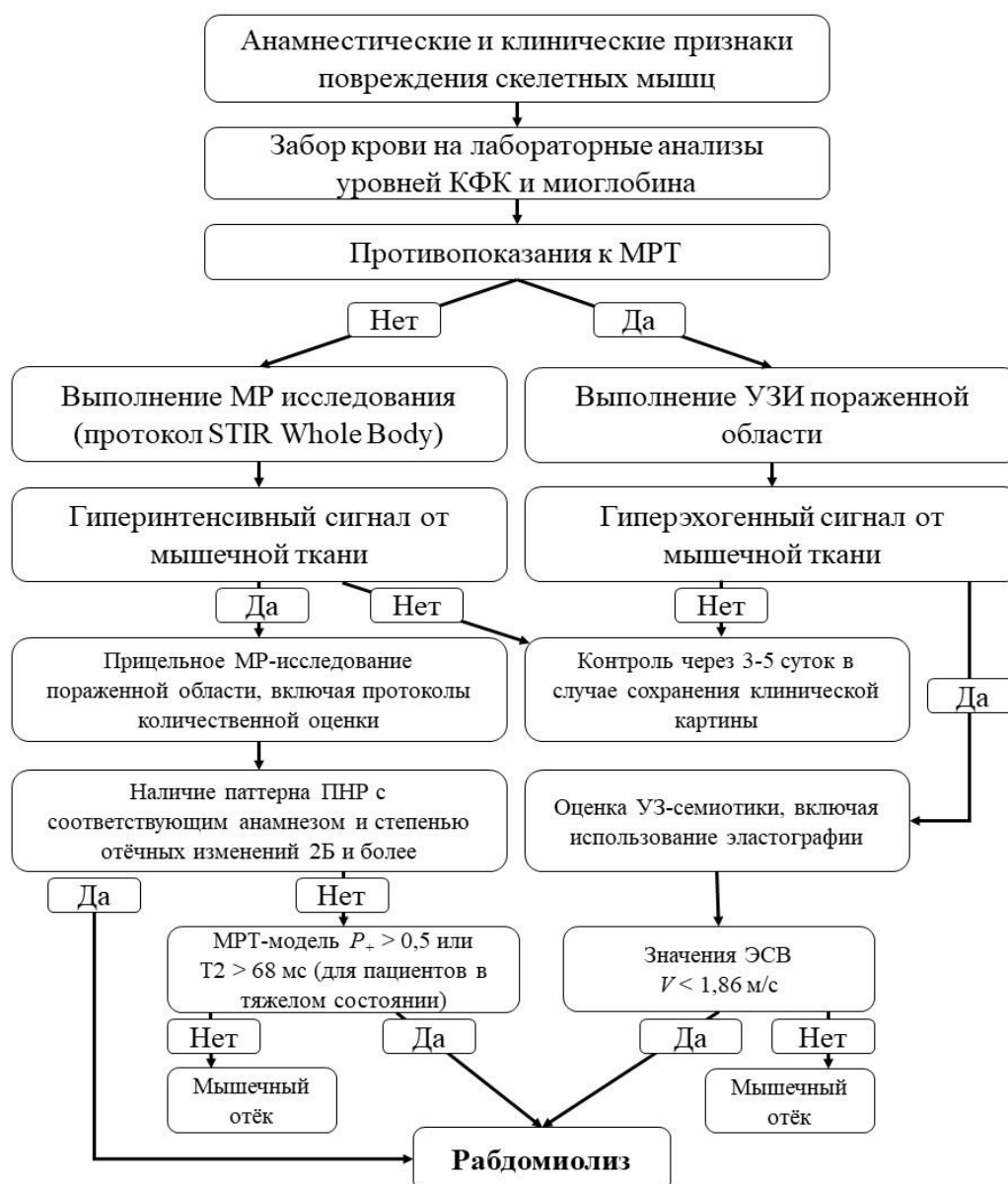


Рисунок 5 – Алгоритм дифференциальной диагностики рабдомиолиза и других отёчных заболеваний мышечной ткани

При наличии противопоказаний к МРТ, пациенту проводится УЗИ. В случае выявления гиперэхогенного сигнала производится измерение скорости

боковой волны скелетной мышцы. Для рабдомиолиза характерно уменьшение данного значения менее 1,86 м/с. В остальных случаях делается заключение о наличии заболевания, проявляющегося отёком мышечной ткани.

При отсутствии изменений структуры мышечной ткани при МРТ и УЗИ и сохранении клинической картины для диагностики синдрома отсроченной мышечной боли назначается контрольное исследование через 3–5 суток

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет поставить диагноз рабдомиолиза с использованием наиболее информативных методик лучевых методов диагностики.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Следующим этапом данного исследования планируется разработка методики МР-сканирования с проведением функциональных проб для выявления молодых людей с повышенной вероятностью развития ПНР с верификацией методами генетического анализа. Данная методика позволит выявлять группы риска заболевания, что актуально при наборе военнослужащих для специальных подразделений.

ВЫВОДЫ

1. Усовершенствованная методика, включающая в себя последовательность обзорного сканирования всего тела STIR во фронтальной плоскости и прицельное сканирование поражённых областей протоколами качественной и количественной оценки, позволяет выявить МР-признаки острых заболеваний, проявляющихся отёком мышечной ткани независимо от их этиологии.

2. МР-признаком рабдомиолиза является гиперинтенсивный сигнал на изображениях импульсных последовательностей, чувствительных к воде, от мышечных волокон без нарушения (первый тип) или с нарушением (второй тип) их целостности, с 2Б, 2В и 3 степенью выраженности отёчных изменений, характеризующийся преимущественно двухсторонней симметричной локализацией и с формированием характерных паттернов поражения при постнагрузочной этиологии (чувствительность – 93%, специфичность – 72%, точность – 79%). УЗ-признаком рабдомиолиза является однородное выраженное повышение эхогенности структуры мышечной ткани, преимущественно симметричное с обеих сторон, с нарушением поперечной исчерченности структуры мышцы, а также выявлением гипозоногенных участков при формировании очагов некроза (чувствительность – 68%, специфичность – 57%, точность – 62%). КТ не позволяет визуально дифференцировать рабдомиолиз, однако для мышечного отёка характерно снижение рентгеновской плотности поражённой мышечной ткани по сравнению с непоражённой на 14% [9; 21].

3. Наиболее эффективной методикой лучевой диагностики рабдомиолиза является МРТ-модель логистической регрессии с комплексным использованием величин T1, T2 и T2* (чувствительность – 98%, специфичность

– 78% и точность – 94%). Наиболее эффективной методикой УЗ-диагностики рабдомиолиза является ЭСВ, измеряемая в м/с (чувствительность – 75%, специфичность – 61%, точность – 68%).

4. Количественная МРТ позволяет оценить регресс отёчных изменений при рабдомиолизе. Уменьшение времени релаксации мышечной ткани при рабдомиолизе до физиологических значений: T1 – 870 [796; 1036] мс, T2 – 40 [30; 50] мс, T2* – 27 [20; 35] мс – при индукции внешнего магнитного поля 1,5 Тл свидетельствует о полном восстановлении скелетной мышцы.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для визуализации всех патологических изменений первым протоколом рекомендуется использовать импульсную последовательность сканирования всего тела (WB STIR) во фронтальной плоскости для обзорной оценки всех скелетных мышц и планирования прицельного сканирования.

2. В случаях выявления отёка мышечной ткани непосредственно после выполнения физической нагрузки рекомендовано проведение контрольного МР-исследования после кратковременного (1 час) отдыха пациента для дифференциальной диагностики выявленных изменений с физиологическим постнагрузочным отёком мышечной ткани.

3. Во всех случаях выявления гиперинтенсивного сигнала от мышечной ткани на протоколах, чувствительных к жидкости, рекомендовано применение импульсных последовательностей количественной оценки для диагностики рабдомиолиза скелетных мышц.

4. Для проведения количественного МР-анализа рекомендуется использовать следующие импульсные последовательности: T1-MAP на основе протокола инверсия-восстановление с переменными значениями TI (8 изображений на 1 срез); T2w MSME SE/FFE на основе протоколов многосрезового множественного эха с переменным значением TE (20 изображений на 1 срез) с использованием спинового эха для T2 и градиентного эха для T2*. Данные модифицированных импульсных последовательностей после обработки в программе MRMAP 1.4 на базе языка IDL позволяют получить карты времени релаксации с возможностью измерения T1, T2, T2* в любой области интереса.

5. На этапе качественного анализа МР-изображений при выявлении характерных паттернов допустимо выставление заключения ПНР без проведения количественного анализа.

6. На этапе прицельного сканирования поражённой области рекомендовано использование протокола DWI с фактором b более 800 для выявления участков деструкции мышечной ткани и их исключения из области интереса при анализе карт времени релаксации.

7. Для диагностики рабдомиолиза рекомендуется использовать МРТ-модель ($P_+ \geq 0,5$), использующую значения T1, T2 и T2* от мышечной ткани (для МР-томографов с индукцией магнитного поля 1,5 Тл) с формулой:

$$P_+ = \frac{1}{1 + e^{-(0,013082 * T1 + 0,1077 * T2 + 0,1341 * T2^* - 28,31902)}}$$

8. При невозможности проведения полного протокола МР-исследования (тяжёлое состояние, ухудшение самочувствия пациента в процессе сканирования) количественный анализ мышечной ткани возможно ограничить измерением только T2.

9. Пациентам с верифицированным диагнозом рабдомиолиза рекомендовано выполнение контрольной МР-релаксометрии через 7–12 суток после начала заболевания для оценки динамики течения заболевания, а также при отсутствии клинических проявлений через 30–35 суток для валидации полного восстановления мышечной ткани ($T1 < 1036$ мс, $T2 < 50$ мс, $T2^* < 35$ мс).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Бардаков, С.Н. Магнитно-резонансная томография мышц в диагностике постнагрузочного рабдомиолиза / С.Н. Бардаков, А.Н. Бельских, Н.Н. Рыжман, И.С. Железняк, С.С. Багненко, В.А. Царгуш, **А.А. Емельянцев**, Г.Г. Романов, М.О. Мавликеев, Р.В. Деев // Лучевая диагностика и терапия. – 2019. – Т. 10, №2. – С. 91-101.

2. **Емельянцев, А.А.** Клинический случай острого постнагрузочного рабдомиолиза верхних конечностей / А.А. Емельянцев, И.С. Железняк, С.Н. Бардаков, В.А. Царгуш, А.Н. Бельских, М.В. Захаров // Радиология-Практика. – 2019. – Т. 78, №6. – С. 103-114.

3. **Емельянцев, А.А.** МР-релаксометрия в диагностике рабдомиолиза / А.А. Емельянцев, И.С. Железняк, С.Н. Бардаков, В.А. Царгуш, А.Н. Бельских, М.В. Захаров // Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2021. – Т. 11, №1. – С. 191-199.

Список печатных работ по теме исследования, опубликованных в других изданиях

1. **Емельянцев, А.А.** Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике постнагрузочного рабдомиолиза / А.А. Емельянцев, И.С. Железняк, С.Н. Бардаков, С.С. Багненко, В.А. Царгуш // Материалы конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – г. Москва, 2019. – С. 59.

2. **Емельянцев, А.А.** Сравнительный анализ количественных параметров МРТ и УЗИ при физиологическом отеке мышечной ткани / А.А. Емельянцев, С.Н. Бардаков, В.А. Царгуш, И.С. Железняк, С.С. Багненко // Материалы научно-практической конференции молодых ученых «Немёновские чтения», посвященной 90-летию кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики Военно-медицинской академии имени С.М.Кирова. – СПб.: РИП-СПб. – 2019. – С. 75-76.

3. Царгуш, В.А. Магнитно-резонансная томография в диагностике миопатий / В.А. Царгуш, С.Н. Бардаков, С.С. Багненко, **А.А. Емельянцев**, И.С. Железняк, Е.А. Юхно, Е.Н. Чернец, Р.В. Деев, А.А. Исаев // Материалы

Российской научно-практической конференции «Болезни периферических нервов и мышц: необходимый и достаточный объём исследования». – г. Москва. – 2019. – С. 36-37.

4. Царгуш, В.А. Магнитно-резонансный паттерн изменений мышц тазового пояса и нижних конечностей у пациентов с дисферлинопатиями / В.А. Царгуш, С.Н. Бардаков, С.С. Багненко, И.С. Железняк, З.Р. Умаханова, П.Г. Ахмедова, Р.М. Магомедова, К.Ю. Моллаева, К.З. Зульфугаров, **А.А. Емельянцев**, Е.Н. Чернец, И.А. Яковлев, Г.Д. Далгатов, А.А. Исаев, Р.В. Деев // Лучевая диагностика и лучевая терапия. – 2020. – Т. 11, №1. – С. 93-105.

5. **Емельянцев, А.А.** Сравнительный анализ эффективности МРТ и УЗИ в диагностике острого рабдомиолиза / А.А. Емельянцев, И.С. Железняк, С.Н. Бардаков, С.С. Багненко, В.А. Царгуш, И.В. Лепехин // Материалы XII Международного конгресса «Невский радиологический форум-2020». – г. Санкт-Петербург, 2020 – С. 140.

6. **Емельянцев, А.А.** Возможности лучевых методов в диагностике заболеваний мышечной ткани, сопровождающихся отёком // А.А. Емельянцев, И.С. Железняк, С.Н. Бардаков, С.С. Багненко, В.А. Царгуш // Материалы IV Межрегиональной научно-практической онлайн конференции с международным участием. – г. Смоленск. – 2020. – С. 24.

7. **Емельянцев, А.А.** Возможности МР-релаксометрии в диагностике острого некроза скелетных мышц / А.А. Емельянцев, И.С. Железняк, С.Н. Бардаков, С.С. Багненко, В.А. Царгуш // Материалы конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – г. Москва. – 2020. – С. 65-66.

8. **Емельянцев, А.А.** Сравнительный анализ МР-релаксометрии и ультразвуковой эластографии сдвиговой волны в диагностике заболеваний скелетных мышц, проявляющихся отёчным синдромом / А.А. Емельянцев, И.С. Железняк, С.Н. Бардаков, С.С. Багненко, В.А. Царгуш // Материалы XII Международного конгресса «Невский радиологический форум-2021». – г. Санкт-Петербург. – 2021. – С. 170-171.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВИ – взвешенное изображение

КТ – компьютерная томография

КФК – креатинфосфокиназа

МР- / МРТ – магнитно-резонансный / магнитно-резонансная томография

ПНР – постнагрузочный рабдомиолиз

УЗИ – ультразвуковое исследование

ЭСВ – эластография сдвиговой волны

Me – медиана