

## МР-РЕЛАКСОМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ РАБДОМИОЛИЗА

Емельянцев А.А., Железняк И.С., Бардаков С.Н., Царгуш В.А.,  
Бельских А.Н., Захаров М.В.

**Цель исследования.** Оценка возможностей количественной МРТ в диагностике и мониторинге течения рабдомиолиза различной этиологии.

**Материалы и методы.** Проанализированы результаты МРТ, выполненные 80 пациентам с клиническими проявлениями рабдомиолиза. Диагноз рабдомиолиза подтверждался измерением уровня миоглобина (более 70 мкг/л) и КФК (более 1000 ЕД/л) при отсутствии лабораторно-инструментальных признаков повреждения миокарда. Сканирование осуществлялось протоколами T1, T2, STIR, а также разработанными импульсными последовательностями для расчета времени релаксации T1, T2 и T2\*. Пациентам выполнялось МР-исследование не менее 3 раз в течение заболевания.

**Результаты.** У 48 пациентов был выявлен гиперинтенсивный сигнал от мышечной ткани на протоколах T2 и STIR. В 25 случаях характер сигнала и его выраженность соответствовали МР-картине рабдомиолиза, из которых 16 были подтверждены лабораторными методами и/или биопсией пораженной мышцы. У одного пациента с уровнем миоглобина крови (577 нг/мл) не выявлено патологических изменений на МР-изображениях. Таким образом, в анализируемой группе чувствительность и специфичность составили 94% и 71%.

Протоколами количественной оценки были получены значения времени релаксации для пораженной мышечной ткани. Методом ROC-анализа были определены пороги отсечения для рабдомиолиза: T1 больше 1152 мс, T2 больше 63 мс и T2\* больше 48 мс с чувствительностью и специфичностью соответственно: 94% и 73%, 94% и 84%, 88% и 85%.

Динамические изменения времени релаксации в процессе выздоровления пациентов имели корреляционные взаимосвязи высокой и средней силы с основными лабораторными маркерами рабдомиолиза. Наиболее высокие значения коэффициента корреляции выявлены между T2 и активностью КФК, АЛС и АСТ ( $r_s = 0,805, 0,813$  и  $0,803$ ;  $p < 0,05$ ).

**Заключение.** Усовершенствованная методика МРТ мышц с количественной оценкой T2 времени релаксации имеет высокую чувствительность и специфичность (94% и 82%) в диагностике рабдомиолиза. Восстановление T2 мышечной ткани до нормативных значений может использоваться как показатель восстановления мышечной ткани.

Ключевые слова: рабдомиолиз, магнитно-резонансная томография, время релаксации, скелетная мускулатура.

Контактный автор: Емельянцев А.А., e-mail: [yemelyantsev@gmail.com](mailto:yemelyantsev@gmail.com)

Для цитирования: Емельянцев А.А., Железняк И.С., Бардаков С.Н., Царгуш В.А., Бельских А.Н., Захаров М.В. МР-релаксометрия в диагностике рабдомиолиза. REJR 2021; 11(1):191-199. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-191-199.

Статья получена: 09.06.20

Статья принята: 04.02.21

ФГБ ВОУ ВО  
«Военно-медицинская  
академия имени С.М.  
Кирова» Минобороны  
России.  
г. Санкт-Петербург,  
Россия.

## MR-RELAXOMETRY IN DIAGNOSTICS OF RHABDOMYOLYSIS

Emelyantsev A.A., Zheleznyak I.S., Bardakov S.N.,  
Tsargush V.A., Belskikh A.N.

S.M. Kirov Military  
Medical Academy.  
St. Petersburg, Russia.

**Purpose.** Assessing the possibilities of quantitative MRI in the diagnosis and monitoring of the course of rhabdomyolysis of various etiologies.

**Materials and methods.** The results of MRI performed by 80 patients with clinical manifestations of rhabdomyolysis were analyzed. The diagnosis of rhabdomyolysis was confirmed by measuring the level of myoglobin (more than 70 µg/l) and CPK (more than 1000 IU/l) in the absence of laboratory and instrumental signs of myocardial damage. Scanning was carried out using T1, T2, STIR protocols, as well as the developed pulse sequences for calculating the relaxation times T1, T2 and T2\*. Patients underwent MR examination at least 3 times during the course of the disease.

**Results.** In 48 cases was detected a hyperintensive signal from muscle tissue on the T2 and STIR protocols. In 25 cases were identified MR signs of rhabdomyolysis, 16 of which were confirmed by laboratory methods and or biopsy of the affected muscle. One patient with a blood myoglobin level (577 ng/ml) showed no pathological changes in MR images. Thus, in the analyzed group, the sensitivity and specificity were 94% and 71%.

Quantification protocols obtained relaxation times for the affected muscle tissue. The ROC analysis method determined cutoff thresholds for rhabdomyolysis: T1 greater than 1152 ms, T2 greater than 63 ms and T2\* greater than 48 ms with sensitivity and specificity, respectively: 94% and 73%, 94% and 84%, 88% and 85%.

Dynamic changes in the relaxation time during the recovery of patients had correlation relationships of high and medium strength with the main laboratory markers of rhabdomyolysis. The highest values of the correlation coefficient were found between T2 and the activity of CPK, ALS, and AST ( $r_s = 0.805, 0.813, \text{ and } 0.803; p < 0.05$ ).

**Conclusion.** An improved technique for muscle MRI with a quantitative assessment of T2 relaxation time has high sensitivity and specificity (94% and 82%) in the diagnosis of rhabdomyolysis. Recovery of T2 muscle tissue to normal values can be used as an indicator of muscle tissue recovery.

Keywords: rhabdomyolysis, magnetic resonance imaging, relaxation time, skeletal muscle.

Corresponding author: Emelyantsev A.A., e-mail: yemelyantsev@gmail.com

For citation: Emelyantsev A.A., Zheleznyak I.S., Bardakov S.N., Tsargush V.A., Belskikh A.N. MR-relaxometry in diagnostics of rhabdomyolysis. REJR 2021; 11(1):191-199. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-191-199.

Received: 09.06.20

Accepted: 04.02.21

**Д** Рабдомиолиз – это острый некроз поперечно-полосатой скелетной мускулатуры, характеризующийся миалгией и мышечной слабостью, сопровождающийся повышением в сыворотке крови креатинфосфокиназы и миоглобина. Рабдомиолиз может приводить к острой почечной недостаточности, синдрому диссеминированного внутрисосудистого свертывания, летальному исходу [1, 2]. Выраженные механические, токсические или ишемические воздействия на скелетные мышцы, независимо от нозологической принадлежности повреждающего фактора, могут приводить к некрозу скелетной мышечной ткани. Среди причин рабдомиолиза наиболее часто выявляют ком-

партмент-синдром, травмы, физические нагрузки (включая судорожный синдром), термические воздействия, применение наркотических/токсических веществ, нарушения обмена веществ (диабет, гликогенозы, митохондриальные заболевания), действие ионизирующих излучений, инфекционные заболевания, укусы ядовитых животных [3]. Около трети всех случаев рабдомиолиза является следствием чрезмерной физической нагрузкой в возрастной категории от 18 до 28 лет, при этом у 20% пациентов рабдомиолиз осложняется острым почечным повреждением (ОПП) [1].

Клинические проявления рабдомиолиза неспецифичны, а в ряде случаев основной клинический признак – миалгический синдром –

может отсутствовать. Из лабораторных показателей наиболее чувствительным, но малоспецифичным признаком является повышение активности креатинфосфокиназы (КФК) сыворотки крови. Повышение уровня миоглобина в крови и моче является более характерным маркером, но имеет несколько особенностей: миоглобинурия выявляется только в 20% случаев, а уровень миоглобина в крови характеризуется коротким временем полувыведения (2-3 часа), и, следовательно, имеет низкую отрицательную прогностическую ценность [3]. Для КФК и миоглобина свойственны крайне высокие значения в первые дни заболевания (острый период) и достаточно быстрое восстановление этих показателей, которое характеризует прекращение дальнейшего повреждения мембран мышечных волокон, но не свидетельствует о прекращении патологического процесса [4].

Среди методов лучевой диагностики магнитно-резонансная томография обладает наибольшей чувствительностью в диагностике рабдомиолиза. На T1-взвешенных изображениях выявляется изоинтенсивный сигнал (I тип рабдомиолиза), либо гиперинтенсивный сигнал (II тип рабдомиолиза), в то время как на T2-взвешенных изображениях отмечается гиперинтенсивный сигнал из-за сочетания отека, некроза миоцитов и внутримышечных кровоизлияний [5]. Использование контрастного вещества не рекомендуется из-за высокого риска развития ОПП [6]. МР-признаки стандартных импульсных последовательностей обладают невысокой специфичностью и в меньшей степени могут проявляться при таких заболеваниях, как воспалительные миопатии, травмы мышечной ткани, миопатии при системных заболеваниях, изменения при лучевой терапии и некоторые другие. В связи с этим возникает необходимость в дифференциальной диагностике патологических состояний, сопровождающихся повышением интенсивности МР-сигнала на T2-взвешенных изображениях [7].

T1-, T2-, T2\* - времена релаксации (T1, T2 и T2\*) имеют относительно постоянные значения в нормальной мышечной ткани и изменяются при патологии [8]. Точные механизмы изменений T1 скелетных мышц до настоящего времени изучены недостаточно. К причинам изменений T1 относят изменение внутрисосудистого объема крови, осмотический сдвиги жидкости и температуры. Увеличение T2 после электрической стимуляции было впервые продемонстрировано в мышцах амфибий [9]. Физическая активность приводит к изменению концентрации белков и pH, а также к смещению градиента тока воды внутрь миоцитов, вследствие чего увеличивается объем внутриклеточного пространства и развивается внутриклеточный ацидоз [9]. Эти процессы замед-

ляют поперечную релаксацию, тем самым увеличивая T2. Использование количественных карт T2\* позволяет косвенно оценить микрососудистое соотношение оксигемоглобина к дезоксигемоглобину и оксигенацию тканей на микрососудистом уровне [10].

#### **Цель исследования.**

Оценка возможностей количественной МРТ в диагностике и мониторинге течения рабдомиолиза различной этиологии. Задачи исследования:

1) определить условия и порог отсечения T1, T2, T2\* для мышечной ткани, характеризующие рабдомиолиз с оптимальной чувствительностью и специфичностью;

2) оценить возможность использования релаксометрии в мониторинге динамики патологического процесса;

3) проанализировать взаимосвязь количественных МР-характеристик и лабораторных данных.

#### **Материалы и методы.**

Всем пациентам проводилось исследование после подписания добровольного информированного согласия. Всего обследовано 80 пациентов с одним или несколькими проявлениями поражения скелетной мускулатуры и функции почек: синдромом миалгии в течение более двух дней, мышечной слабостью, отеками конечностей, потемнением мочи. 48 пациентов, у которых был выявлен гиперинтенсивный сигнал от мышечной ткани на T2-ВИ и STIR вошли в основную группу, остальные – в контрольную группу. Диагноз рабдомиолиза подтверждался измерением уровня миоглобина (более 70 мкг/л) и КФК (более 1000 ЕД/л) при отсутствии лабораторно-инструментальных признаков повреждения миокарда. В отдельных случаях выполнялась биопсия мышечной ткани, вовлеченной в патологический процесс.

#### **Лабораторно-инструментальные методы исследования.**

Всем пациентам проводилось динамическое исследование основных маркеров повреждения мышечной ткани: уровни сывороточной активности КФК, АЛТ, АСТ, уровень миоглобина крови. Из инструментальных методов использовались: ЭКГ, ЭхоКГ, стимуляционная ЭНМГ нервов верхних и нижних конечностей; методы лучевой диагностики: рентгенография придаточных пазух носа, УЗИ органов брюшной полости и почек, мягких тканей на уровне повреждения с использованием эластографии, доплерографическое исследование сосудов конечностей. Сканирование осуществлялось на МР-томографе (Philips, Нидерланды) с индукцией магнитного поля 1,5 Тл с применением встроенной и поверхностных катушек, позволяющих проводить быстрое сканирование всего тела с использованием параллельного сбора

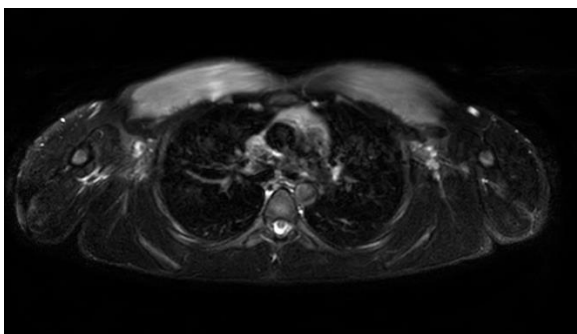


Рис. 1 а (Fig. 1 a)



Рис. 1 б (Fig. 1 b)

**Рис. 1. МРТ грудной клетки и плечевого пояса, аксиальная плоскость.**

а – STIR, б – T1-ВИ. Отмечается выраженный однородный гиперинтенсивный сигнал от больших грудных мышц на STIR-изображении и отсутствие изменения сигнальных характеристик на T1-ВИ.

**Fig. 1. MRI, chest and shoulder girdle, axial.**

STIR (a), T1-weighted image (b). A pronounced homogeneous hyperintense signal from the pectoralis major muscles in the STIR image and the absence of a change in signal characteristics in T1-weighted images are noted.

**Таблица №1. Чувствительность и специфичность результатов полуколичественной МРТ в диагностике рабдомиолиза.**

Заключение	Рабдомиолиз	Иное
Подтвержден	16	22
Не подтвержден	1	9
Параметры диагностического теста		Значение
Чувствительность, %		94
Специфичность, %		71
AUC		0,83
Отношение правдоподобия для положительных результатов		3,24
Отношение правдоподобия для отрицательных результатов		0,08
Прогностическая ценность положительного результата		98,40
Прогностическая ценность отрицательного результата		38,84

данных. В протокол вошли T1, T2, STIR, T2\* импульсные последовательности в трех стандартных взаимно перпендикулярных плоскостях, толщина среза составила 10 мм, количество срезов до 40, расстояние между срезами 1–10 мм. В качестве последовательностей для количественной МРТ использовались протоколы инверсия-восстановление с переменной величиной TI, последовательности с переменным

значением TE на основе как спинового эха, так и градиентного эха. Обработка данных проводилась в свободном программном обеспечении MRMAP v4.0 на основе языка IDL (IDL VIRTUAL MACHINE 7.0). Результаты выводились в виде цветных параметрических карт, а также в формате DICOM. Измерение проводилось на изображениях в аксиальной плоскости путем выделения площади пораженных мышц на



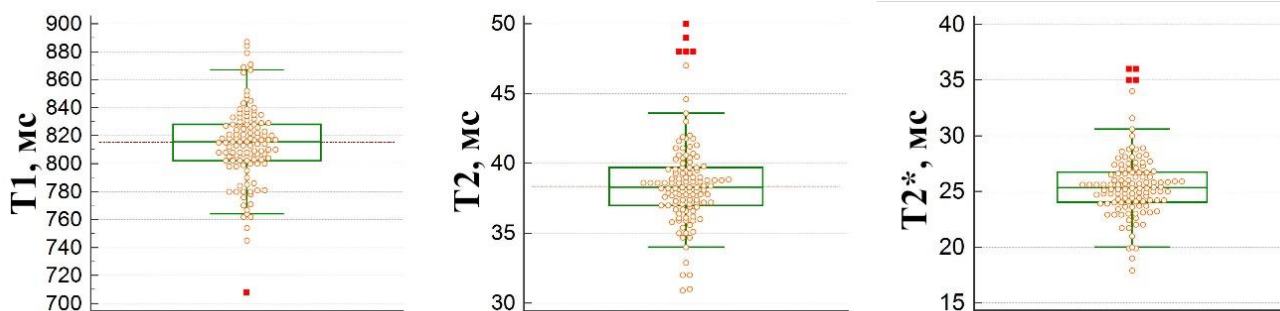


Рис. 2 (Fig. 2)

**Рис. 2. Диаграммы.**

Бокс-плот, распределение T1, T2 и T2\* в контрольной группе.

Центральные тенденции представлены – Me с 95% ДИ, красными точками отмечены выбросы.

**Fig. 2. Diagrams.**

Box-plot diagrams, distribution of T1, T2 and T2\* in the control group.

Central means are presented – Me with 95% CI, red dots indicate emissions.

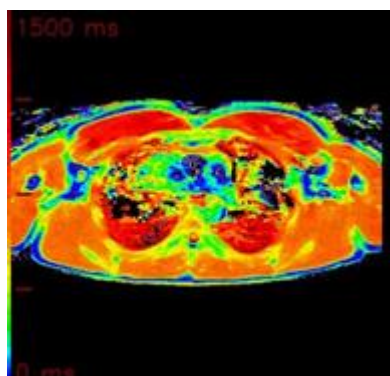


Рис. 3 а (Fig. 3 а)

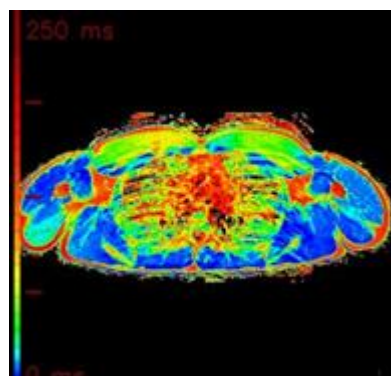


Рис. 3 б (Fig. 3 б)

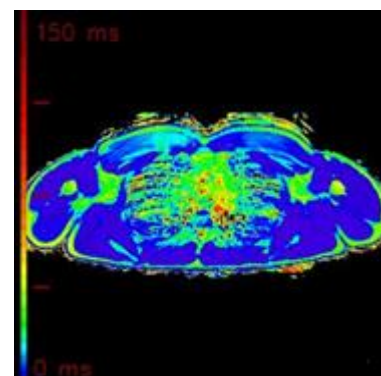


Рис. 3 в (Fig. 3 с)

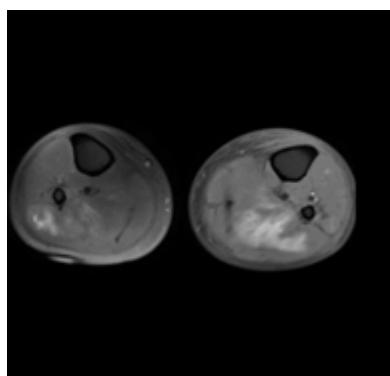


Рис. 3 г (Fig. 3 д)

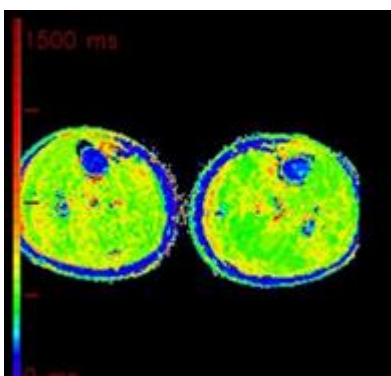


Рис. 3 д (Fig. 3 е)

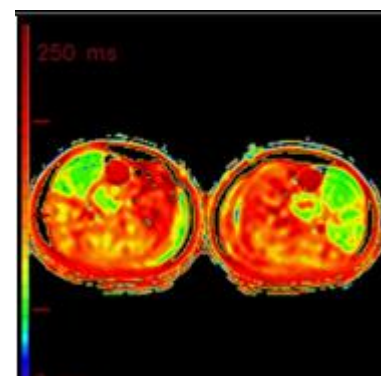


Рис. 3 е (Fig. 3 ф)

**Рис. 3. Параметрические карты времени релаксации.**

Грудная клетка и плечевой пояс, аксиальная плоскость, рабдомиолиз больших грудных мышц I типа: а – T1, б – T2, в – T2\*; г – T1-ВИ-SPIR, аксиальная плоскость, на уровне средней трети голени при рабдомиолизе II типа; д, е – параметрические цветные карты T1 и T2 от мышечной ткани на том же уровне.

**Fig. 3. Parametric maps of relaxation times.**

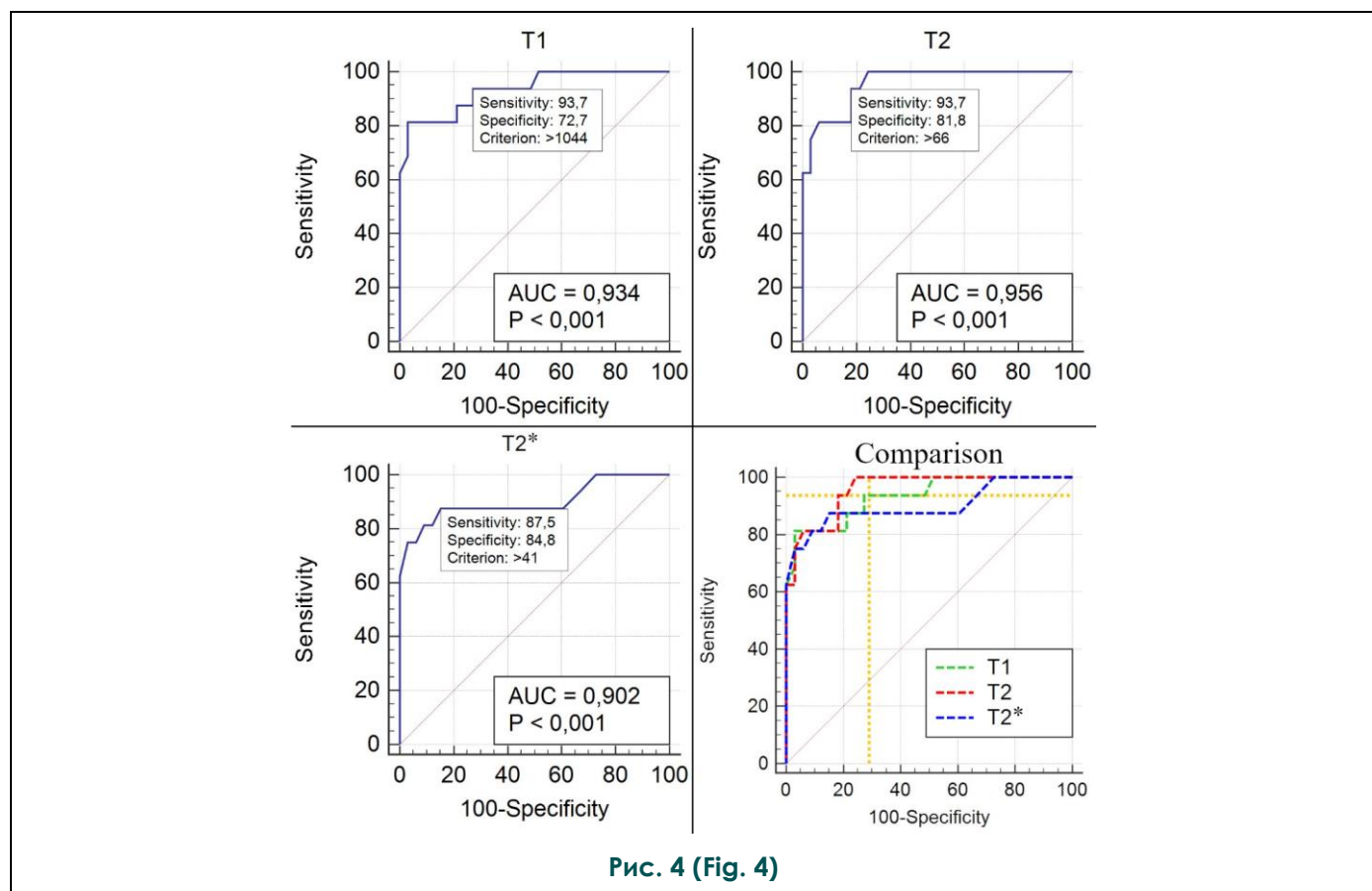
The chest and shoulder girdle, axial, rhabdomyolysis of the pectoralis major muscles of type I: T1 (a), T2 (b) and T2\* (c); g – T1-weighted image-SPIR, axial, the middle third of the legs, rhabdomyolysis type II; d, e – parametric color maps of T1 and T2 from muscle tissue at the same level.

каждом срезе и вычисления среднего значения времени релаксации. Исследование каждому пациенту проводилось не менее трех раз: в первые два дня поступления, при нормализации лабораторных показателей крови (на 7–12 день заболевания) и в период полного/частичного восстановления функции поврежденных мышц (26–39 день заболевания). В отдельных случаях проводились дополнительные исследования для более точной оценки динамики патологического процесса.

Статистический анализ. Центральные тенденции исследуемых параметров представлены в виде среднего значения (M) или медианы (Me) в зависимости от соответствия нормальному распределению. Дисперсия исследуемых параметров представлена в виде 95% доверительных интервалов (ДИ) или максимальных и минимальных значений. Для выявления порога отсечения уровней времени релаксации использовался ROC-анализ в программе MedCalc 18.2.1. Оценка статистической значимости раз-

**Таблица №2. Статистические параметры ROC-кривых времени релаксации (Se – чувствительность, Sp – специфичность).**

Время релаксации	Индекс Юдена	Порог отсечения, мс (Se/Sp, %)	Порог максимальной Se, мс	Порог максимальной Sp, мс
T1	0,7822	1107 (81 / 97)	1016	1150
T2	0,7576	64 (100 / 76)	64	82
T2*	0,7235	41 (88 / 85)	33	49



**Рис. 4 (Fig. 4)**

**Рис. 4. ROC-кривые.**

Сравнительный анализ ROC-кривых времени релаксации мышечной ткани в диагностике рабдомиолиза. Желтые линии – референтные значения чувствительности и специфичности полуколичественной методики.

**Fig. 4. ROC-curves.**

Comparative analysis of ROC-curves of muscle relaxation time in the diagnosis of rhabdomyolysis. The yellow lines are the reference values for the sensitivity and specificity of the semi-quantitative method..

личий в последовательных измерениях осуществлялась с помощью критерия Вилкоксона с поправкой Бонферрони. Наличие взаимосвязи между временем релаксации пораженной мышечной ткани и биохимическими показателями оценивали с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена.

контрольной группе соответствовало норме ( $p < 0,05$ ), а колебание этих значений находилось в относительно небольшом интервале. Для T1 этот интервал составлял от 765 до 866 мс, для T2 от 34 до 46 мс, для T2\* от 21 до 31 мс (рис. 2).

Использование цветных параметрических карт позволило выявить некоторые закономер-

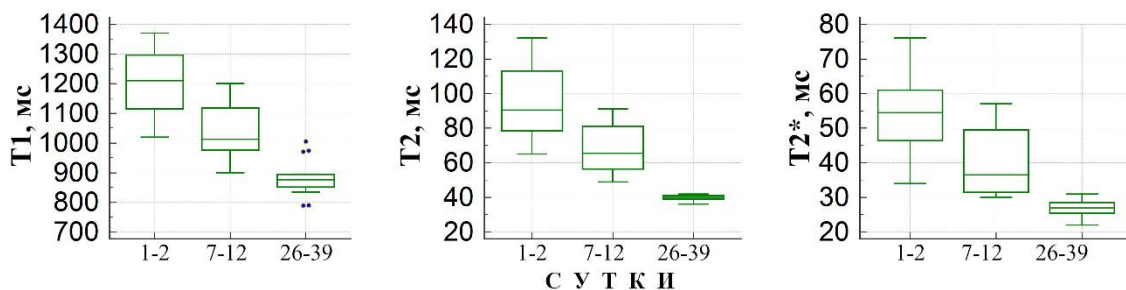


Рис. 5 (Fig. 5)

Рис. 5. Диаграммы.

Бокс-плот изменений T1, T2 и T2\* мышечной ткани пациентов с рабдомиолизом в динамике заболевания (Me ± SD).

Fig. 5. Diagrams.

Box-plot diagrams of changes in T1, T2 and T2\* muscle tissue of patients with rhabdomyolysis in the dynamics of the disease (Me ± SD).

**Таблица №2. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена rs ( $p < 0,05$ ) между временем релаксации T1, T2, T2\* и основными лабораторными показателями рабдомиолиза.**

Параметр	КФК	Миоглобин	АЛТ	АСТ
T1	0,796	0,661	0,723	0,663
T2	0,805	0,705	0,813	0,803
T2*	0,785	0,681	0,680	0,785

**Результаты.**

У 48 пациентов был выявлен гиперинтенсивный сигнал от мышечной ткани на T2-ВИ и STIR. В 25 случаях характер сигнала и его выраженность соответствовали МР-картине рабдомиолиза, из которых 16 были подтверждены лабораторными методами и/или биопсией пораженной мышцы. В 13 случаях отмечался однородный гиперинтенсивный сигнал (I тип рабдомиолиза) от мышечной ткани на T2-ВИ и STIR и изоинтенсивный сигнал на T1-ВИ (рис. 1 а, б); в остальных определялся неоднородный гиперинтенсивный сигнал на T1-ВИ, T2-ВИ и STIR (II тип рабдомиолиза). У одного пациента с уровнем миоглобина крови (577 нг/мл) не выявлено патологических изменений на МР-изображениях.

Полученные статистические показатели полуколичественной диагностики рабдомиолиза методом МРТ представлены в таблице №1.

Время релаксации мышечной ткани в

ности изменения времени релаксации при рабдомиолизе различных типов. I тип рабдомиолиза характеризовался выраженным увеличением T1 – 1044 (1020; 1075) мс, T2 – 64 (60; 73) мс и T2\* – 39 (37;42) мс в пораженных областях (рис. 3 а – в). При наличии рабдомиолиза II типа в областях с гиперинтенсивным сигналом на T1-ВИ отмечалось уменьшение T1 до 350–400 мс, которое незначительно изменялось при динамическом наблюдении (рис. 3 г, д).

Для оценки целесообразности использования времени релаксации, в качестве диагностического критерия и выявления порога отсеечения был проведен ROC-анализ (рис. 4). Статистические параметры кривых представлены в таблице №2.

Значения T1 больше 1150 мс, T2 больше 82 мс и T2\* больше 49 мс по данным нашего исследования обладают 100% специфичностью в диагностике рабдомиолиза. Наиболее оптимальными и соответствующими поставленным

задачам являются пороговые значения T1 более 1044 мс и T2 более 66 мс, которые показали большую специфичность (73% и 82%, соответственно) в диагностике рабдомиолиза, чем полуколичественная методика при сохранении аналогичной высокой чувствительности 94%. Использование величины T2\* более 41 мс показало меньшую чувствительность, чем полуколичественная методика, однако существенно большую специфичность (88% и 85%).

При попарном сравнении ROC-кривых выявлены высокие значения AUC > 0,9, при этом между ними не отмечалось статистически значимых различий (рис. 4). Тем не менее, при этом наиболее высокие показатели чувствительности, специфичности и площади под кривой были выявлены при измерении T2.

Динамические изменения медиан времени релаксации в процессе выздоровления пациентов (рис. 5) имели корреляционные взаимосвязи высокой и средней силы с основными лабораторными маркерами рабдомиолиза (табл. №3). Наиболее высокие значения коэффициента корреляции выявлены между T2 и активностью КФК, АЛС и АСТ ( $r_s = 0,805, 0,813$  и  $0,803$ ;  $p < 0,05$ ). Уровень сывороточного миоглобина характеризовался наличием коэффициента, коррелировал меньшей силы с показателями количественной МРТ.

#### Обсуждение.

Полученные результаты подтверждают высокую чувствительность МРТ в диагностике рабдомиолиза и других заболеваний мышечной ткани, сопровождающихся отёчными изменениями [3]. Учитывая, что специфичность используемых МР-признаков в диагностике рабдомиолиза остается невысокой, применение количественной МРТ с измерением времени релаксации позволяет повысить специфичность метода до 82% без снижения чувствительности. Значения времени релаксации T1 больше 1152 мс, T2 больше 63 мс и T2\* больше 48 мс позволяют с высокой вероятностью диагностировать рабдомиолиз до получения лабораторного подтверждения.

Различные типы рабдомиолиза отличаются своими количественными МР-характеристиками: при I типе отмечаются обширные, неравномерные участки снижения T1, при II типе определяется равномерное увеличение T1, совпадающее с областью отечных изменений. Это объясняется наличием внутримышечных кровоизлияний и свободного белкового содержимого, что было подтверждено у двух пациентов с помощью исследования биопсионного материала [6]. T2 мышечной ткани увеличивается при рабдомиолизе любого типа. Таким образом, выявленные особенности ограничивают использование T1 в диагностике рабдомиолиза I типа.

Повышенный уровень миоглобина сыворотки крови позволяет верифицировать диагноз рабдомиолиза, а также прогнозировать вероятность развития ОПП. Вследствие быстрой элиминации из кровеносного русла, а также крупных размеров молекул, которые могут попасть в кровоток только при полном разрушении мембран миоцитов, уровень миоглобина не позволяет оценить динамику восстановления мышечной ткани. Активность КФК является более приемлемым показателем оценки текущего состояния мышечной ткани [4, 11].

Значимое снижение показателей времени релаксации в динамике заболевания и высокие коэффициенты корреляции КФК с временем релаксации мышечной ткани позволяют сделать вывод о возможности использования последних в качестве МР-маркера активности заболевания, среди которых самым эффективным является измерение T2 [8].

В ходе сопоставления клинического статуса, МР-данных и результатов лабораторных исследований в процессе течения рабдомиолиза выявлено, что на 10–15 сутки заболевания при отсутствии повышения лабораторных маркеров у пациентов сохраняются такие клинические проявления рабдомиолиза, как миалгия, мышечная слабость, патологическая утомляемость. Полностью эти симптомы регрессируют к 30–35 суткам заболевания. В такие же сроки нормализуется время релаксации мышечной ткани в пораженных областях. В качестве референсного значения нами была выбрана верхняя граница 95% доверительного интервала времени релаксации контрольной группы (исключая выбросы). Полученные данные соответствуют ранее представленным сообщениям о продолжительности восстановления скелетных мышц после рабдомиолиза длительностью не менее одного месяца (период исключения физических нагрузок) [12]. Таким образом, время релаксации можно использовать в качестве биомаркера не только активности патологического процесса при рабдомиолизе, но и как критерий полного восстановления мышечной ткани [1, 8, 13].

#### Заключение.

Усовершенствованная методика МРТ мышц с количественной оценкой T2 времени релаксации имеет высокую чувствительность и специфичность (94% и 82%) в диагностике рабдомиолиза. Восстановление T2 мышечной ткани до нормативных значений может использоваться как показатель восстановления мышечной ткани.

#### Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.



**References:**

1. Derlon J.M., Bourdet C., Bustany P., Chatel M., Theron J., 1. Alpers JP, Jones LK. Natural history of exertional rhabdomyolysis: A population-based analysis. *Muscle Nerve*. 2010; 42: 487-91.
2. Cervellin G, Comelli I, Lippi G. Rhabdomyolysis: historical background, clinical, diagnostic and therapeutic features. *Clin Chem Lab Med*. 2010; 48. DOI 10.1515/CCLM.2010.151
3. Keltz E, Khan FY, Mann G. Rhabdomyolysis. The role of diagnostic and prognostic factors. *Muscles Ligaments Tendons J*. 2014; 3: 303-12.
4. Scalco RS, Snoeck M, Quinlivan R, Treves S, Laforêt P, Jungbluth H, u òp. Exertional rhabdomyolysis: physiological response or manifestation of an underlying myopathy? *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2016; 2: e000151.
5. Cunningham J, Sharma R, Kirzner A, Hwang S, Lefkowitz R, Greenspan D, u òp. Acute myonecrosis at MRI: Etiologies in an oncologic cohort, and assessment of interobserver variability. *Skeletal Radiol*. 2016; 45: 1069-78.
6. Smitaman E, Flores DV, Mejía Gómez C, Pathria MN. MR Imaging of Atraumatic Muscle Disorders. *RadioGraphics*. 2018; 38: 500-22.
7. Cheng Y-C, Lan H, Shih C-H, Chen CC-C, Lee S-K. Magnetic resonance imaging of rhabdomyolysis: Muscle necrosis versus ischemia. *Chin J Radiol Taiwan*. 2013; 38: 143-8.
8. Mankodi A, Azzabou N, Bulea T, Reyngoudt H, Shimellis H, Ren Y, u òp. Skeletal muscle water T2 as a biomarker of disease status and exercise effects in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscul Disord NMD*. 2017; 27: 705-14.
9. Louie EA, Gochberg DF, Does MD, Damon BM. Transverse Relaxation and Magnetization Transfer in Skeletal Muscle: Effect of pH. *Magn Reson Med Off J Soc Magn Reson Med Soc Magn Reson Med*. 2009; 61: 560-9.
10. Varghese J, Scandling D, Joshi R, Aneja A, Craft J, Raman SV, u òp. Rapid Assessment of Quantitative T1, T2, and T2\* in Lower Extremity Muscles in Response to Maximal Treadmill Exercise. *NMR Biomed*. 2015; 28: 998-1008.
11. Lappalainen H, Tiula E, Uotila L, Mänttari M. Elimination kinetics of myoglobin and creatine kinase in rhabdomyolysis: Implications for follow-up: *Crit Care Med*. 2002; 30: 2212-5.
12. Schleich K, Slayman T, West D, Smoot K. Return to Play After Exertional Rhabdomyolysis. *J Athl Train*. 2016; 51: 406-9.
13. Marty B, Baudin P-Y, Reyngoudt H, Azzabou N, Araujo ECA, Carlier PG, u òp. Simultaneous muscle water T2 and fat fraction mapping using transverse relaxometry with stimulated echo compensation: Simultaneous muscle water T2 and fat fraction mapping. *NMR Biomed*. 2016; 29: 431-43.