

Количественный анализ диффузионно-взвешенных изображений очаговых поражений печени. Какой показатель наиболее полезен в дифференциальной диагностике?

Ломовцева К.Х.¹, Карельская Н.А.², Кармазановский Г.Г.^{1,2}, Вишнеvский В.А.²

¹ Институт профессионального образования ГБОУ ВПО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения России, Москва, Россия

² ФГБУ «Институт хирургии им. А.В. Вишнеvского» Министерства здравоохранения России, Москва, Россия

Quantitative Analysis of Diffusion-Weighted Imaging of Focal Liver Lesions. Which Parameter is More Useful in the Differential Diagnosis?

Lomovtseva K.Kh.¹, Karelskaya N.A.², Karmazanovsky G.G.^{1,2}, Vishnevsky V.A.²

¹ Institute for vocational education I.M. Sechenov 1st MSMU, Moscow, Russia

² A.V. Vishnevsky Institute of Surgery, Moscow, Russia

Цель исследования: определить наиболее полезный количественный параметр диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) в дифференциальной диагностике очаговых поражений печени.

Материал и методы. Проанализированы ДВИ 69 пациентов с 192 очаговыми образованиями печени (145 злокачественных и 47 доброкачественных образований). ДВИ получали с использованием трех значений фактора b (0, 300, 600 с/мм²) на высокопольном магнитно-резонансном томографе (3 Тл). Определяли значения измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) очага, разность (рИКД) и отношение (оИКД) между ИКД очага и ИКД паренхимы печени, селезенки, левой почки, поджелудочной железы, тела позвонка, мышц спины. Посредством анализа ROC-кривых находили показатели, имеющие большую диагностическую возможность в дифференцировании злокачественных и доброкачественных образований, с последующим определением их пороговых значений.

Результаты. Среднее значение ИКД доброкачественных образований составило $(2,346 \pm 0,683) \cdot 10^{-3}$ мм²/с, злокачественных – $(1,109 \pm 0,383) \cdot 10^{-3}$ мм²/с. Среди всех вычисленных параметров большей диагностической возможностью обладали рИКД(очаг-печень) и оИКД(очаг/печень). Среднее значение рИКД(очаг-печень) для доброкачественных образований составило $(0,989 \pm 0,657) \cdot 10^{-3}$ мм²/с, для злокачественных – $(-0,257 \pm 0,333) \cdot 10^{-3}$ мм²/с, среднее значение

оИКД(очаг/печень) – $1,729 \pm 0,528$ и $0,819 \pm 0,250$ соответственно.

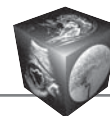
Выводы. Наиболее полезными количественными параметрами ДВИ в дифференциальной диагностике очаговых поражений печени являются рИКД(очаг-печень) и оИКД(очаг/печень).

Ключевые слова: диффузионно-взвешенные изображения, печень, измеряемый коэффициент диффузии, характеристика очаговых поражений, дифференциальная диагностика.

Purpose: to determine the most useful quantitative parameter of diffusion-weighted images (DWI) in the differential diagnosis of focal liver lesions.

Material and methods. DWI of 69 patients with 192 focal liver lesions (145 malignant and 47 benign) were evaluated. DWI was performed with b 0, b 300, b 600 gradients at MRI 3 T. Apparent diffusion coefficient (ADC) of lesion, liver, spleen, left kidney, body of pancreas, vertebral body, back muscle were calculated. The ratio (rADC) and difference (dADC) between ADC lesion and ADC other anatomical structures were calculated. The ROC analyses were performed in order to find more useful parameters in the differentiation of malignant and benign tumors, and to determine cut-off of them.

Results. Mean ADC values of benign lesions were $2.346 \pm 0.683 \cdot 10^{-3}$ mm²/s, malignant $1.109 \pm 0.383 \cdot 10^{-3}$ mm²/s. More useful parameters were dADC(lesion-liver),



rADC(lesion/liver). The mean dADC(lesion-liver) for benign and malignant tumors was $(0.989 \pm 0.657) \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, $(-0.257 \pm 0.333) \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, respectively. The mean rADC(lesion/liver) for benign tumors was 1.729 ± 0.528 , for malignant 0.819 ± 0.250 .

Conclusion. dADC(lesion-liver) and rADC(lesion/liver) are more useful in the differential diagnosis of focal liver lesions.

Key words: diffusion-weighted imaging, liver, apparent diffusion coefficient, characteristic of focal lesions, differential diagnosis.

Введение

Диффузионно-взвешенная МРТ (ДВ-МРТ) отражает особенности свободного (броуновского) движения молекул воды [1, 2]. В биологических тканях характер изменения диффузии молекул воды определяется их взаимодействием с клеточными мембранами, макромолекулами, внутриклеточными органеллами [3]. Диффузия воды складывается из трех компонентов: движения молекул воды во внутриклеточном, внеклеточном, внутрисосудистом пространствах [4]. Повышение клеточной плотности, например в опухолевых образованиях, приводит к уменьшению внеклеточного пространства и увеличению числа гидрофобных мембран, что способствует ограничению диффузии [2, 3].

Как известно, ДВ-МРТ изначально применялась для обнаружения острой ишемии головного мозга [2, 5]. Благодаря появлению сверхбыстрых импульсных последовательностей (SS-EPI), параллельного сбора информации ДВ-МРТ в последние годы стала активно использоваться в диагностике заболеваний органов брюшной полости, в частности печени [2]. Преимуществом ДВ-МРТ является не только качественная (визуальная), но и количественная оценка характера диффузии с помощью измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) [5]. С момента первого сообщения М.Ф. Muller и соавт. в 1994 г. о возможности использования ИКД для

характеристики патологических изменений печени [6, 7] количественному анализу диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) было посвящено множество работ [7]. При этом значения ИКД очагов разнятся между исследованиями, что связано с отсутствием стандартизации протокола исследования, использованием различных факторов b и других технических параметров, а также с различной локализацией очага (правая/левая доля) [5, 7, 8]. По этой причине представляет интерес сравнение групп образований не только по значениям ИКД очага, но и по их отношению/разности и т.д., что могло бы ликвидировать численные расхождения между исследованиями, а также улучшить дифференциально-диагностические возможности метода.

Цель исследования

Определение наиболее полезного количественного параметра ДВИ в дифференциальной диагностике очаговых поражений печени.

Материал и методы

В исследование включено 69 пациентов (42 (60,9%) женщины и 27 (39,1%) мужчин; возраст 18–77 лет; средний возраст 54,3 года) с 192 образованиями печени. Всем пациентам была проведена ДВ-МРТ брюшной полости в Институте хирургии им. А.В. Вишневского с января по август 2014 г. Критериями включения являлись визуализация образования на ИКД-карте и наличие его верификации посредством патоморфологического исследования, типичных лучевых признаков, данных анамнеза, длительного наблюдения пациентов (табл. 1). Среди образований преобладали злокачественные (145, 75,5%): метастазы (112), гепатоцеллюлярный рак (ГЦР) (26), холангиоцеллюлярный рак (ХЦР) (7). Доброкачественные образования (47, 24,5%) были представлены

Для корреспонденции: Кармазановский Григорий Григорьевич – 117997, Россия, Москва, ул. Большая Серпуховская, 27, Институт хирургии им. А.В. Вишневского. Тел. 8-499-237-37-64. E-mail: karmazanovsky@ixv.ru

Ломовцева Карина Хусаиновна – аспирант кафедры лучевой диагностики Института профессионального образования ГБОУ ВПО ПМГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ; **Карельская Наталья Александровна** – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “Институт хирургии им. А.В. Вишневского” МЗ РФ; **Кармазановский Григорий Григорьевич** – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом лучевых методов диагностики и лечения ФГБУ “Институт хирургии им. А.В. Вишневского” МЗ РФ, профессор кафедры лучевой диагностики Института профессионального образования ГБОУ ВПО ПМГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ; **Вишневский Владимир Александрович** – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением абдоминальной хирургии №2 ФГБУ “Институт хирургии им. А.В. Вишневского” МЗ РФ.

Contact: Karmazanovsky Grigory Grigorievich – Bolshaya Serpukhovskaya str., 27, Moscow, Russia, 117997, A.V. Vishnevsky Institute of Surgery. Phone: 8-499-237-37-64. E-mail: karmazanovsky@ixv.ru

Lomovtseva Karina Khusainovna – post-graduate student at Department of Radiology in Institute for vocational education I.M. Sechenov 1st MSMU; **Karelskaya Natalya Aleksandrovna** – cand. of med. sci., a senior researcher of the Radiology Department of A.V. Vishnevsky Institute of Surgery; **Karmazanovsky Grigory Grigorievich** – doct. of med. sci., professor, chief of the Radiology Department of A.V. Vishnevsky Institute of Surgery, professor of Department of Radiology in Institute for vocational education I.M. Sechenov 1st MSMU; **Vishnevsky Vladimir Aleksandrovich** – doct. of med. sci., professor, chief of the Abdominal Surgery Department №2 of A.V. Vishnevsky Institute of Surgery.



Таблица 1. Критерии, по которым происходила верификация образований; их вклад в каждую нозологическую группу

Тип поражения	Число	Патоморфологическая верификация	Типичная лучевая картина	Длительность наблюдения	Данные анамнеза
Метаастазы	112	53	80	56 (более 3 мес)	98
ГЦР	26	20	16	10 (более 6 мес)	20
ХЦР	7	6	1	–	1
ГЦА	2	2	–	–	–
ФНГ	4	2	2	2 (более 12 мес)	–
Гемангиома	19	–	19	7 (более 12 мес)	–
Киста	20	–	20	–	–
Ангиомиолипома	2	2	–	–	–

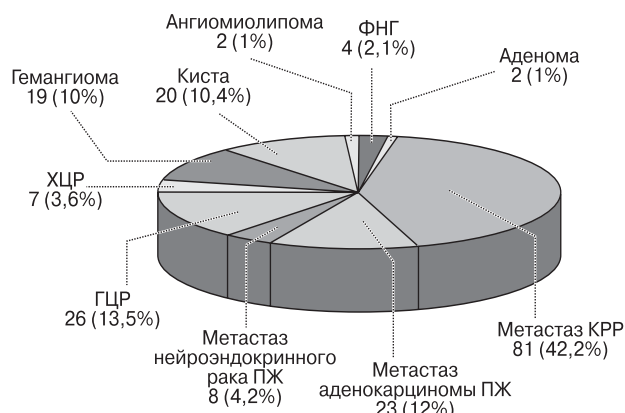


Рис. 1. Качественный и количественный состав изучаемой группы образований.

гепатоцеллюлярной аденомой (ГЦА) (2), фокально-нодулярной гиперплазией (ФНГ) (4), гемангиомой (19), кистой (20), ангиомиолипомой (2) (рис. 1). Каждую группу очагов дополнительно разделяли по размерам: более и менее 1 см.

ДВ-МРТ проводили на высокопольном магнитно-резонансном томографе Philips Achieva 3 Тл с применением 16-канальной катушки SENSE XL

Torso. ДВИ получали с использованием трех значений фактора b (0, 300, 600 с/мм²) с респираторной синхронизацией. Параметры изображения: TE – 49 мс, TR – 1244 мс, толщина среза – 7 мм, размер матрицы – 124 × 100, число возбуждений (NEX) – 4. Измерения ИКД производились на рабочей станции Extended MR Workspace 2.6.3.5 (Philips).

Измеряли ИКД образования на ИКД-карте путем выделения зоны интереса (region of interests – ROI) по периметру очага (рис. 2). При наличии в центральной зоне некротических изменений учитывали значение только солидного компонента. Измеряли ИКД паренхимы печени непосредственно рядом с очагом, а также ИКД паренхимы тела поджелудочной железы (ПЖ), левой почки, селезенки, мышц спины, тела позвонка. Измерения ИКД вышеперечисленных анатомических структур старались производить на уровне образования в пределах одного аксиального среза, при невозможности этого ввиду наличия артефактов и расположения исследуемых областей на разных уровнях измерения производились в наиболее визуальном однородном участке анатомической структуры. Определяли следующие параметры:

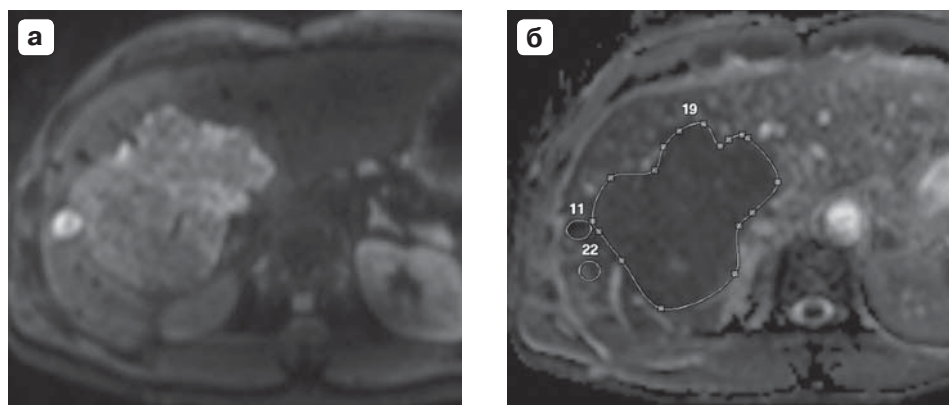


Рис. 2. МР-изображения метастазов КРР. а – ДВИ, $b = 600$ с/мм²; б – ИКД-карта (0, 300, 600). На ИКД-карте (б) визуализируются выделенные ROI очагов (11, 19), а также ROI паренхимы печени (22).

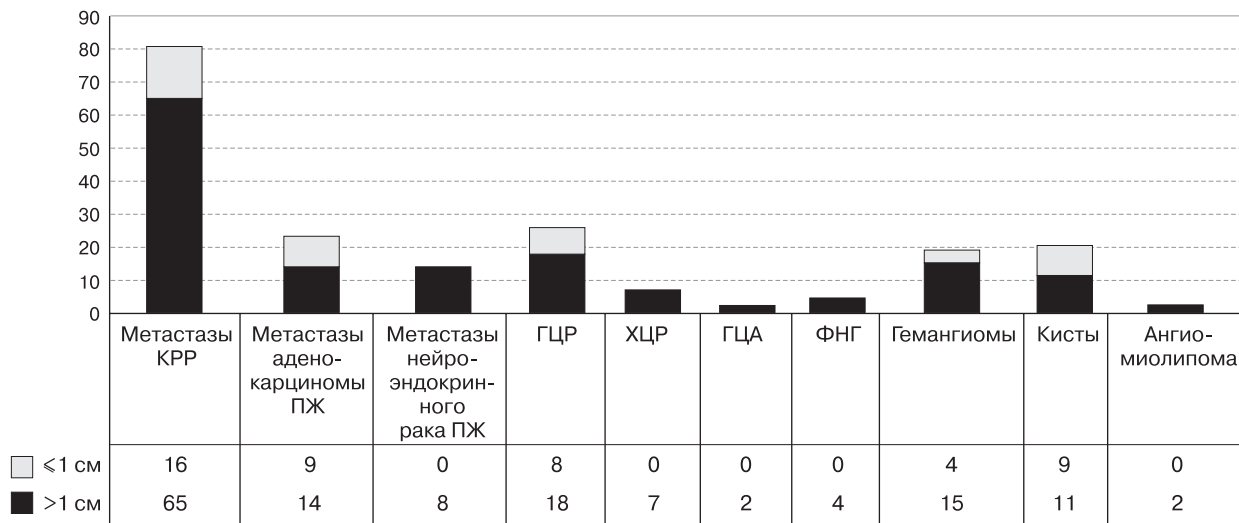
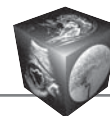


Рис. 3. Распределение образований по размерам (> 1 см и ≤1 см) в пределах каждой нозологической группы.

$$p\text{ИКД(очаг-х)} = \text{ИКД очага} - \text{ИКД х,}$$

$$o\text{ИКД(очаг/х)} = \text{ИКД очага} : \text{ИКД х,}$$

где х – анатомическая область.

Статистическая обработка данных осуществлялась в программе SPSS Statistics 17.0. С помощью ROC-анализа определяли наиболее диагностически значимые показатели, вычисляли для них пороговое значение с соответствующей чувствительностью и специфичностью. Исключив из исследуемой группы гемангиомы и кисты, отдельно проанализировали диагностическую возможность выявленных показателей в дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных солидных образований. Для оценки значимо-

сти различий между группами по вычисленным показателям использовали критерий Манна-Уитни.

Результаты и их обсуждение

Образования размером менее 1 см были выявлены среди метастазов колоректального рака (КРР) и аденокарциномы ПЖ, ГЦР, гемангиом и кист (рис. 3). Значения ИКД каждой нозологической группы приведены в табл. 2. Наиболее высокие значения ИКД имели кисты, наиболее низкие значения – все метастазы размером менее 1 см. При этом ИКД очагов размером менее 1 см в группах вторичных образований, ГЦР и кист были ниже, чем ИКД очагов размером более 1 см

Таблица 2. ИКД каждой нозологической группы

Тип очагового поражения	Более 1 см			Менее 1 см		
	максимальное значение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	минимальное значение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	среднее значение \pm стандартное отклонение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	максимальное значение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	минимальное значение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	среднее значение \pm стандартное отклонение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
Метастазы КРР	2,093	0,3675	1,177 \pm 0,375	1,7891	0,2311	0,877 \pm 0,343
Метастазы аденокарциномы ПЖ	1,481	0,623	1,077 \pm 0,243	1,505	0,460	0,837 \pm 0,370
Метастазы нейроэндокринного рака ПЖ	2,120	0,573	1,490 \pm 0,525	–	–	–
ГЦР	1,558	0,885	1,116 \pm 0,177	1,078	0,680	0,854 \pm 0,157
ХЦР	2,436	0,684	1,260 \pm 0,602	–	–	–
ГЦА	1,433	1,130	1,282 \pm 0,214	–	–	–
ФНГ	2,150	1,198	1,631 \pm 0,418	–	–	–
Гемангиомы	2,887	1,489	2,149 \pm 0,487	2,580	1,611	2,100 \pm 0,399
Кисты	3,460	2,568	3,02 \pm 0,298	3,149	1,800	2,433 \pm 0,390
Ангиомиолипомы	4,220	1,219	2,720 \pm 2,122	–	–	–

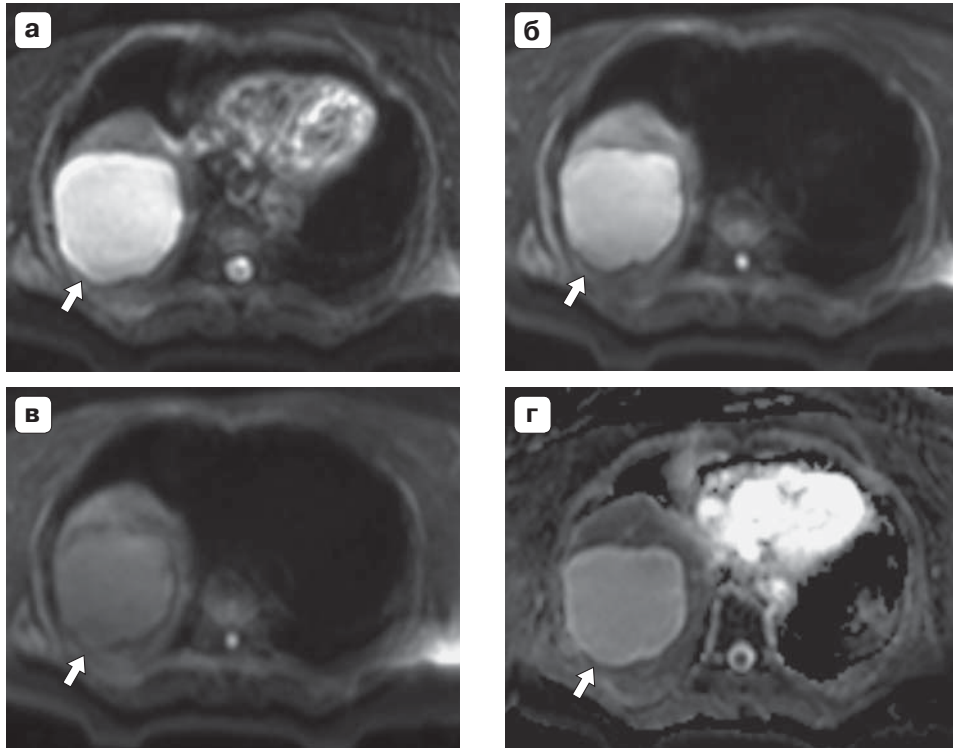


Рис. 4. МР-изображения кисты правой доли печени. а – ДВИ, $b = 0$ с/мм²; б – ДВИ, $b = 300$ с/мм²; в – ДВИ, $b = 600$ с/мм²; г – ИКД-карта. Отмечается снижение интенсивности сигнала образования (стрелка) с увеличением фактора b (а–в). На ИКД-карте (г) интенсивность сигнала кисты значительно выше, чем интенсивность сигнала окружающей паренхимы печени.

$$\text{РИКД(очаг-печень)} = 1,467 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}.$$

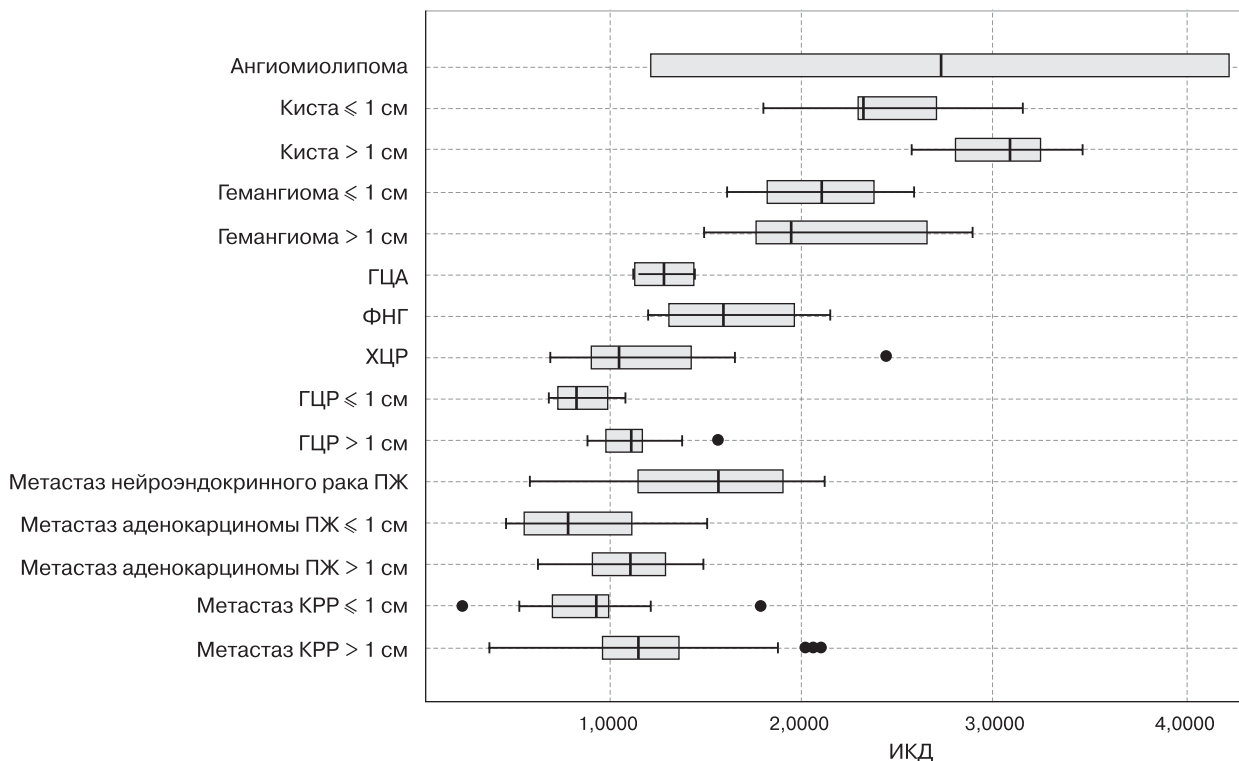
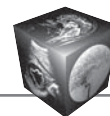


Рис. 5. Ящичковая диаграмма распределения ИКД для каждой нозологической группы ($\cdot 10^{-3}$ мм²/с).

**Таблица 3.** ИКД исследуемых областей

Область измерения	Максимальное значение, • 10 ⁻³ мм ² /с	Минимальное значение, • 10 ⁻³ мм ² /с	Среднее значение ± стандартное отклонение, • 10 ⁻³ мм ² /с
Печень	2,430	0,822	1,369 ± 0,296
Селезенка	2,724	0,637	0,989 ± 0,209
Левая почка	1,933	1,9330	2,276 ± 0,163
Тело ПЖ	2,316	1,1808	1,679 ± 0,187
Тело позвонка	0,946	0,1207	0,446 ± 0,143
Мышцы спины	2,100	1,1482	1,623 ± 0,165

Таблица 4. Анализ ROC-кривых

Вычисленный показатель	Площадь под кривой
ИКД очага	0,927
РИКД (очаг-печень)	0,947
ОИКД (очаг/печень)	0,943
РИКД (очаг-тело позвонка)	0,899
ОИКД (очаг/тело позвонка)	0,872
РИКД (очаг-селезенка)	0,884
ОИКД (очаг/селезенка)	0,881
РИКД (очаг-мышцы спины)	0,902
ОИКД (очаг/мышцы спины)	0,907
РИКД (очаг-ПЖ)	0,894
ОИКД (очаг/ПЖ)	0,910
РИКД (очаг-левая почка)	0,910
ОИКД (очаг/левая почка)	0,913

в тех же группах ($p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,01$ соответственно). Между гемангиомами разных размеров такой закономерности отмечено не было. Вероятно, выраженное ограничение диффузии в мелких солидных очагах обусловлено их более компактной клеточной организацией, отсутствием в них процессов распада. В кистах, напротив, нет структурных элементов, которые могли бы вызвать рестрикцию диффузии (рис. 4) [9]. Более низкие значения ИКД в мелких кистах, вероятно, связаны с меньшим относительно крупных кист внутренним объемом пространства для движения молекул воды. Наблюдали перекрытие значений ИКД как между доброкачественными и злокачественными образованиями, так и между нозологиями внутри каждой группы (рис. 5).

ИКД исследуемых анатомических областей и результаты анализа ROC-кривых для дифференцирования доброкачественных и злокачественных образований приведены в табл. 3, 4. В связи с отсутствием различий между ИКД правой и левой почки [10] для удобства использовали ИКД левой почки. Среди всех параметров большей диагностической возможностью с учетом площади под кривой обладали следующие показатели в порядке убывания: РИКД(очаг-печень), ОИКД(очаг/печень), ИКД очага. Их значения для каждой нозологической группы и распределение среди доброкачественных

и злокачественных образований представлены в табл. 5–7 и на рис. 6.

Полученные значения ИКД очагов схожи с данными других исследований: образования злокачественной природы имели более низкие значения ИКД, чем доброкачественные ($p < 0,001$). В большей части исследований [9, 11–14], в том числе и в нашей общей группе образований, среди доброкачественных образований значительную часть занимали кисты и гемангиомы (рис. 7), которые характеризуются высоким значением ИКД. При анализе группы солидных образований сохранились статистически достоверные различия между ИКД доброкачественных и злокачественных образований ($p < 0,001$): для первой группы среднее значение ИКД составило $(1,816 \pm 1,029) \cdot 10^{-3}$ мм²/с, для второй группы значение осталось прежним – $(1,109 \pm 0,383) \cdot 10^{-3}$ мм²/с.

В результате анализа ROC-кривых были определены пороговые значения выделенных показателей для дифференцирования доброкачественных и злокачественных образований в общей группе и в группе солидных образований (табл. 8). Из табл. 8 видно, что чувствительность всех трех параметров одинакова для пороговых значений, однако специфичность РИКД(очаг-печень) и ОИКД(очаг/печень) выше, чем ИКД очага. Пороговые значения в группе солидных образований ниже,



Таблица 5. Измеряемые параметры для доброкачественных и злокачественных образований

Показатель	Злокачественные образования			Доброкачественные образования		
	максимальное значение	минимальное значение	среднее значение ± стандартное отклонение,	максимальное значение	минимальное значение	среднее значение ± стандартное отклонение
ИКД очага	$2,436 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$0,231 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$(1,109 \pm 0,383) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$4,221 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$1,130 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$(2,346 \pm 0,683) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
рИКД(очаг-печень)	$1,020 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$-1,138 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$(-0,257 \pm 0,333) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$2,653 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$-0,276 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	$(0,989 \pm 0,657) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
оИКД(очаг/печень)	1,950	0,177	$0,819 \pm 0,250$	3,062	0,804	$1,729 \pm 0,528$

Таблица 6. рИКД(очаг-печень) для каждой нозологической группы

Тип очагового поражения	Более 1 см			Менее 1 см		
	максимальное значение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	минимальное значение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	среднее значение ± стандартное отклонение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	максимальное значение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	минимальное значение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	среднее значение ± стандартное отклонение, $\cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
Метастазы КРР	1,020	-1,053	$-0,272 \pm 0,321$	-0,018	-1,138	$-0,520 \pm 0,313$
Метастазы аденокарциномы ПЖ	0,433	-0,531	$-0,015 \pm 0,272$	-0,184	-1,000	$-0,548 \pm 0,237$
Метастазы нейроэндокринного рака ПЖ	0,460	-0,757	$-0,015 \pm 0,375$	-	-	-
ГЦР	0,083	-0,440	$-0,170 \pm 0,127$	0,015	-0,731	$-0,368 \pm 0,215$
ХЦР	0,736	-0,470	$0,006 \pm 0,420$	-	-	-
ГЦА	-0,142	-0,276	$-0,209 \pm 0,095$	-	-	-
ФНГ	0,520	-0,070	$0,223 \pm 0,242$	-	-	-
Гемангиомы	1,440	0,306	$0,777 \pm 0,381$	1,210	0,350	$0,720 \pm 0,396$
Кисты	2,330	1,190	$1,744 \pm 0,317$	1,160	0,580	$0,943 \pm 0,198$
Ангиомиолипомы	2,653	0,203	$1,428 \pm 1,732$	-	-	-

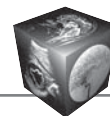


Таблица 7. оИКД(очаг/печень) для каждой нозологической группы

Тип очагового поражения	Более 1 см			Менее 1 см			среднее значение ± стандартное отклонение
	максимальное значение	минимальное значение	среднее значение ± стандартное отклонение	максимальное значение	минимальное значение	среднее значение ± стандартное отклонение	
Метастазы КРР	1,950	0,296	0,821 ± 0,246	0,985	0,177	0,631 ± 0,211	
Метастазы аденокарциномы ПЖ	1,414	0,540	0,997 ± 0,257	0,891	0,374	0,591 ± 0,156	
Метастазы нейроэндокринного рака ПЖ	1,277	0,431	0,975 ± 0,261	-	-	-	
ГЦР	1,065	0,722	0,869 ± 0,088	1,014	0,502	0,707 ± 0,157	
ХЦР	1,433	0,593	0,986 ± 0,313	-	-	-	
ГЦА	0,910	0,804	0,857 ± 0,075	-	-	-	
ФНГ	1,319	0,945	1,147 ± 0,154	-	-	-	
Гемангиомы	2,125	1,256	1,571 ± 0,286	1,883	1,207	1,537 ± 0,299	
Кисты	3,062	1,748	2,407 ± 0,389	2,009	1,475	1,651 ± 0,186	
Ангиомиолипомы	2,692	1,199	1,946 ± 1,055	-	-	-	

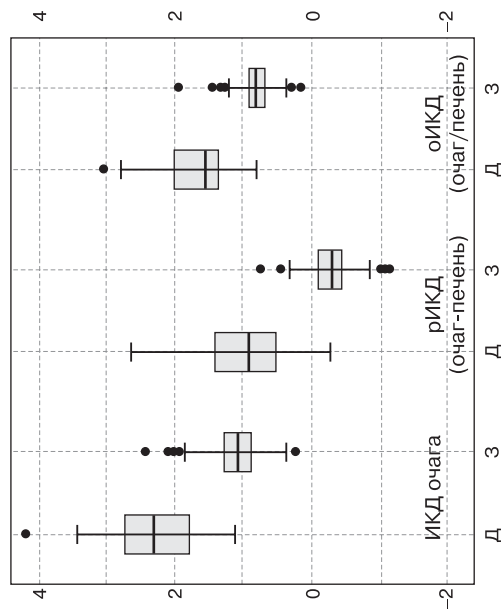


Рис. 6. Ящичковая диаграмма распределения значений вычисленных показателей среди доброкачественных (Д) и злокачественных образований (З).

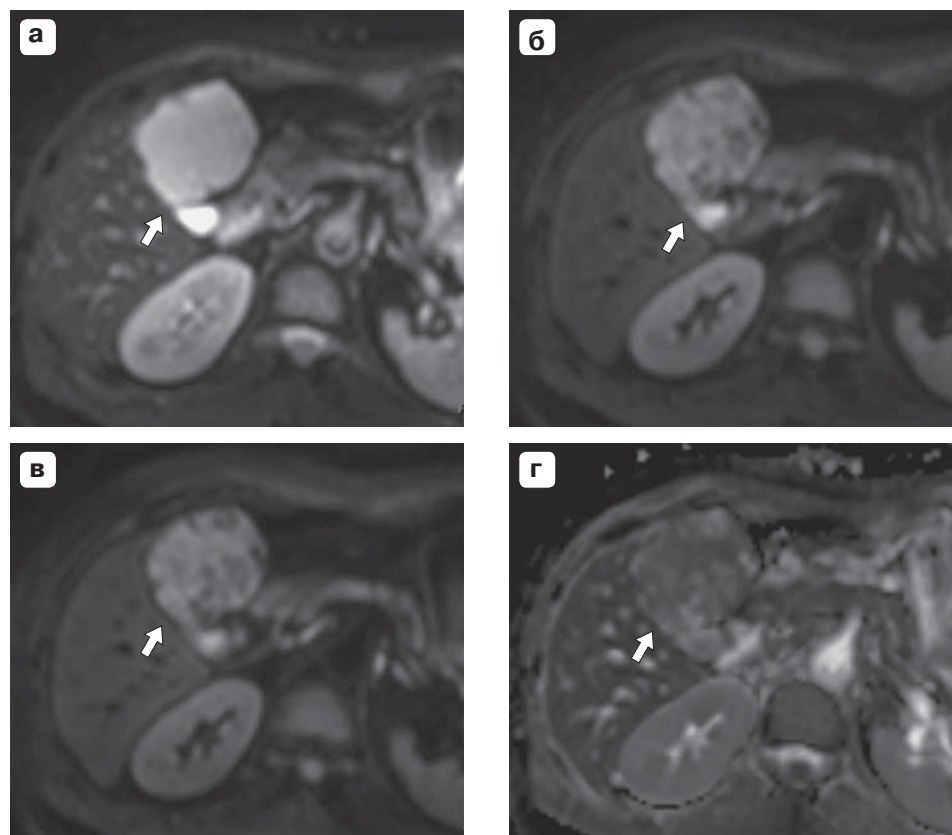


Рис. 7. МР-изображения гемангиомы IV сегмента печени. а – ДВИ, $b = 0 \text{ с/мм}^2$; б – ДВИ, $b = 300 \text{ с/мм}^2$; в – ДВИ, $b = 600 \text{ с/мм}^2$; г – ИКД-карта. Отмечается снижение интенсивности сигнала гемангиомы (стрелка) с увеличением фактора b (а–в). Темные зоны в структуре образования (б, в) являются сосудами, которые имеют высокую интенсивность сигнала при $b = 0 \text{ с/мм}^2$ (а) и на ИКД-карте (г). Интенсивность образования на ИКД-карте (г) выше, чем интенсивность окружающей паренхимы печени.

$$\text{рИКД(очаг-печень)} = 0,691 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}.$$

Таблица 8. ROC-анализ

Показатель	Группа солидных образований + гемангиомы и кисты (192)				Группа солидных образований (153)			
	площадь под кривой	пороговое значение	чувствительность, %	специфичность, %	площадь под кривой	пороговое значение	чувствительность, %	специфичность, %
ИКД очага	0,927	$1,401 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	93,6	82,1	0,815	$1,189 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	87,5	66,2
рИКД(очаг-печень)	0,947	$0,199 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	93,6	90,3	0,839	$-0,146 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	87,5	71
оИКД(очаг/печень)	0,943	1,142	93,6	90,3	0,838	0,909	87,5	73,8

чем в общей группе образований. Одновременно отмечается снижение чувствительности и специфичности показателей.

Стоит отметить, что Т. Sutherland и соавт. [15] получили противоположные нашим результаты. Среднее значение оИКД(очаг/печень) для солидных доброкачественных образований в их исследовании составило $1,1005 \pm 0,3783$, для солидных злокачественных образований $1,0890 \pm 0,4975$, что свидетельствовало о бесполезности применения в

дифференциальной диагностике как оИКД(очаг/печень), так и самого количественного анализа ИКД-карт. Авторы указывают на ограничение исследования в виде небольшого числа злокачественных образований (11 из 58), однако при этом сомневаются, что при большем их числе результаты могли бы измениться. Среди доброкачественных образований преобладала ФНГ (40 из 48), которая в большинстве случаев имела признаки рестрикции диффузии на ИКД-карте [15].

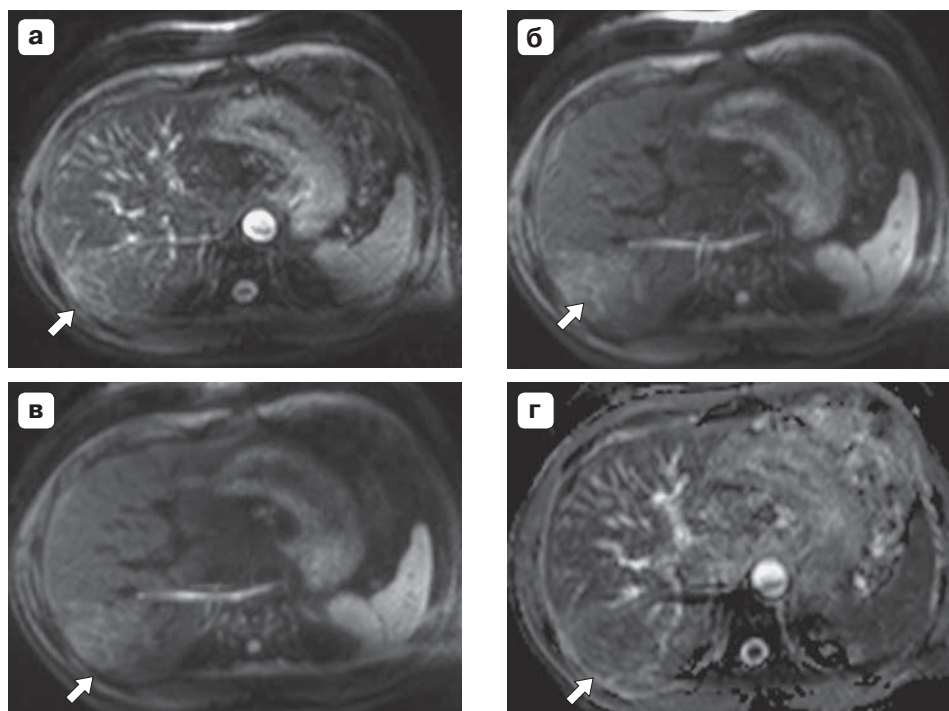
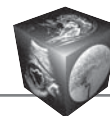


Рис. 8. МР-изображения ФНГ правой доли печени. а – ДВИ, $b = 0 \text{ с/мм}^2$; б – ДВИ, $b = 300 \text{ с/мм}^2$; в – ДВИ, $b = 600 \text{ с/мм}^2$; г – ИКД-карта. Образование (стрелка) на ИКД-карте (г) имеет слабо гиперинтенсивный сигнал относительно паренхимы печени.

$$\text{рИКД(очаг-печень)} = 0,241 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}.$$

Г. Agnello и соавт. получили схожие с предыдущим исследованием данные относительно солидных доброкачественных образований [16]. При анализе 54 ФНГ и 36 ГЦА ИКД образований были ниже, чем окружающей паренхимы. В нашем исследовании ФНГ имела преимущественно более высокие показатели ИКД, чем окружающая паренхима печени (среднее значение $\text{рИКД(очаг-печень)} = (0,223 \pm 0,242) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$) (рис. 8), а ГЦА характеризовались отрицательным значением $\text{рИКД(очаг-печень)} = (-0,209 \pm 0,095) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$ (рис. 9). Полученные нами значения ИКД ФНГ были выше, чем ИКД ГЦА, так же как у Г. Agnello и соавт. [16].

В проведенном исследовании в группе солидных очагов преобладали злокачественные образования (145 из 153), при этом большую их часть составляли метастазы. Ряд авторов указывают на высокую чувствительность ДВИ в диагностике метастазов КРП [17, 18], в частности очагов размером менее 1 см (рис. 10) [18]. Среди метастазов размером более 1 см наиболее высокие значения ИКД имели метастазы нейроэндокринного рака ПЖ ($p < 0,05$). При сравнении рИКД(очаг-печень) более низкие значения имели метастазы КРП крупных размеров по сравнению с метастазами аденокарциномы и нейроэндокринного рака ПЖ ($p < 0,001$). Существует мнение, что метастазы

гиперваскулярных опухолей за счет повышенной перфузии могут иметь более высокие значения ИКД, чем метастазы гиповаскулярных опухолей [19]. Такое же мнение распространено в отношении гиперваскулярных злокачественных опухолей печени – ГЦР [7]. Тем не менее более редкая первичная опухоль печени – ХЦР, несмотря на гиповаскулярность относительно ГЦР, также может иметь более высокие значения ИКД, чем паренхима печени (рис. 11, 12). Полученные нами значения ИКД ХЦР были выше, чем ГЦР (рис. 13). Вероятно, имеются другие факторы, приводящие к повышению ИКД злокачественного солидного образования на ИКД-карте.

В проведенном исследовании был ряд ограничений, одним из которых является ранее упомянутое небольшое число солидных доброкачественных образований (8 из 153 солидных). Кроме того, у всех пациентов с ГЦР был цирроз печени. Считают, что паренхима печени при циррозе имеет более низкие значения ИКД, чем здоровая паренхима [20]. Тем не менее, на наш взгляд, данный фактор не повлиял на полученные результаты, если учесть, что только в 2 из 26 случаев ГЦР ИКД очага был выше ИКД паренхимы печени.

ДВ-МРТ является высокоинформативным методом для выявления очаговой патологии печени [21]. Однако вопрос о его возможностях в характе-

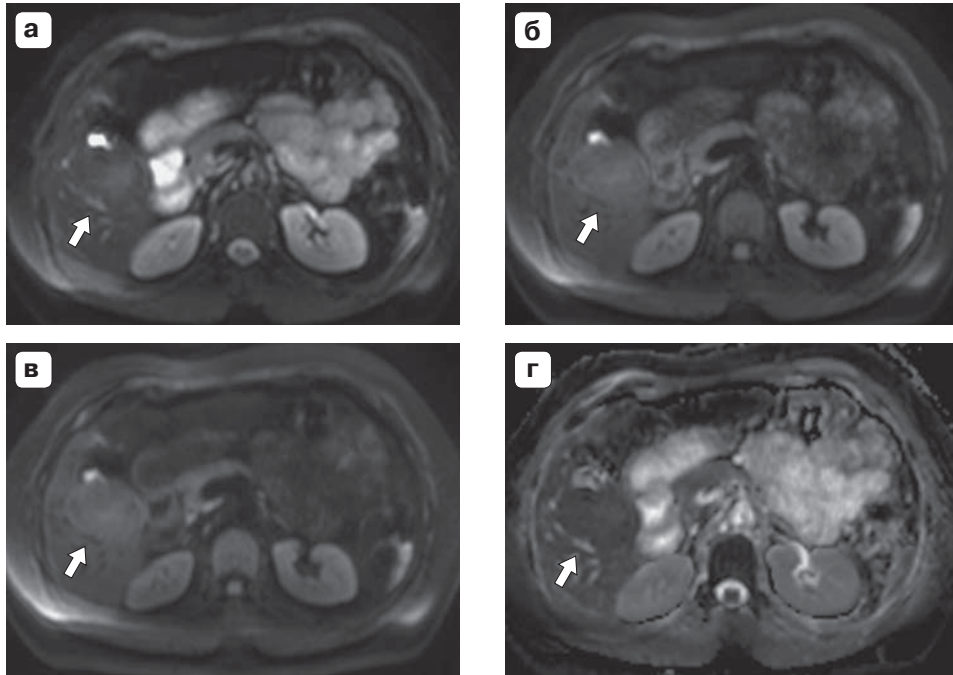


Рис. 9. МР-изображения аденомы V сегмента печени. а – ДВИ, $b = 0 \text{ с/мм}^2$; б – ДВИ, $b = 300 \text{ с/мм}^2$; в – ДВИ, $b = 600 \text{ с/мм}^2$; г – ИКД-карта. Образование (стрелка) практически изоинтенсивно паренхиме печени на ДВИ (а–в), резко повышает интенсивность сигнала при увеличении фактора b . Образование на ИКД-карте (г) слабо гипоинтенсивно относительно окружающей паренхимы печени.

$$\text{РИКД(очаг-печень)} = -0,276 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}.$$

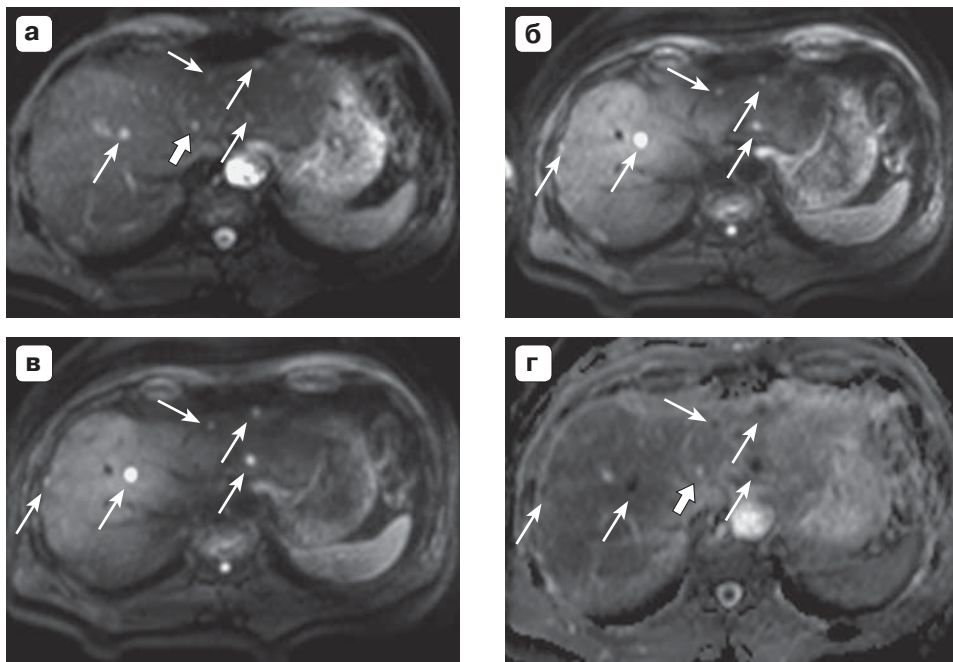


Рис. 10. МР-изображения метастазов КРР и мелкой кисты. а – ДВИ, $b = 0 \text{ с/мм}^2$; б – ДВИ, $b = 300 \text{ с/мм}^2$; в – ДВИ, $b = 600 \text{ с/мм}^2$; г – ИКД-карта. Метастазы (тонкие стрелки) на ДВИ (а–в) повышают интенсивность сигнала с увеличением фактора b , выражено гипоинтенсивны относительно паренхимы печени на ИКД-карте (г). Киста (толстая стрелка) визуализируется на ДВИ только при $b = 0 \text{ с/мм}^2$ (а), на ИКД-карте (г) имеет гиперинтенсивный сигнал относительно паренхимы печени.

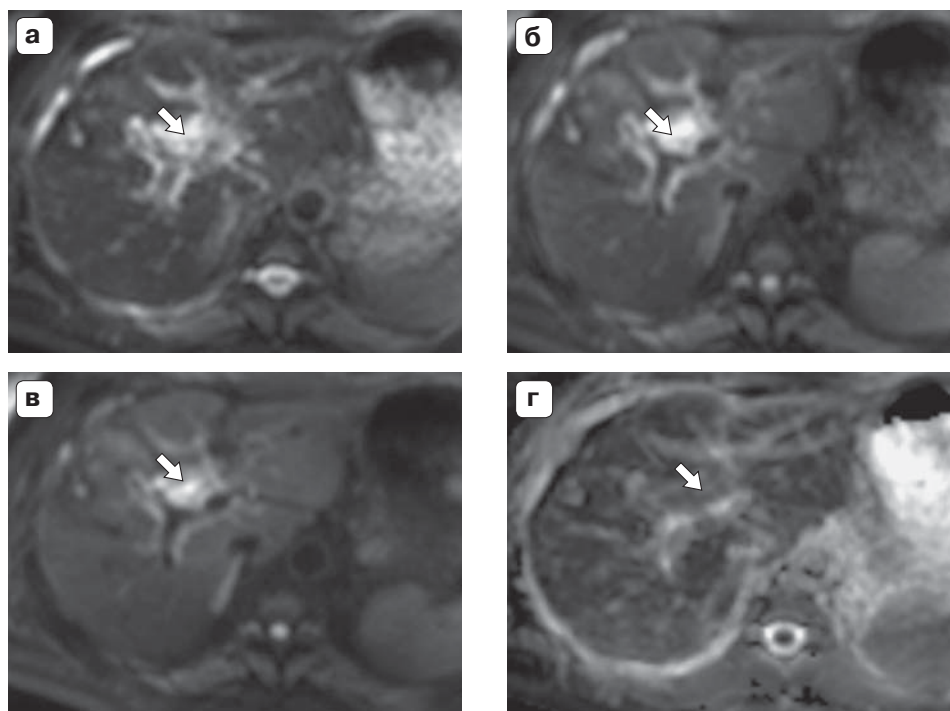
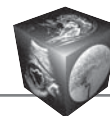


Рис. 11. МР-изображения ХЦР области ворот печени. а – ДВИ, $b = 0 \text{ с/мм}^2$; б – ДВИ, $b = 300 \text{ с/мм}^2$; в – ДВИ, $b = 600 \text{ с/мм}^2$; г – ИКД-карта. Образование (стрелка) имеет слабо гиперинтенсивный сигнал на ИКД-карте (г) по сравнению с окружающей паренхимой печени.

$$\text{РИКД(очаг-печень)} = 0,233 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}.$$

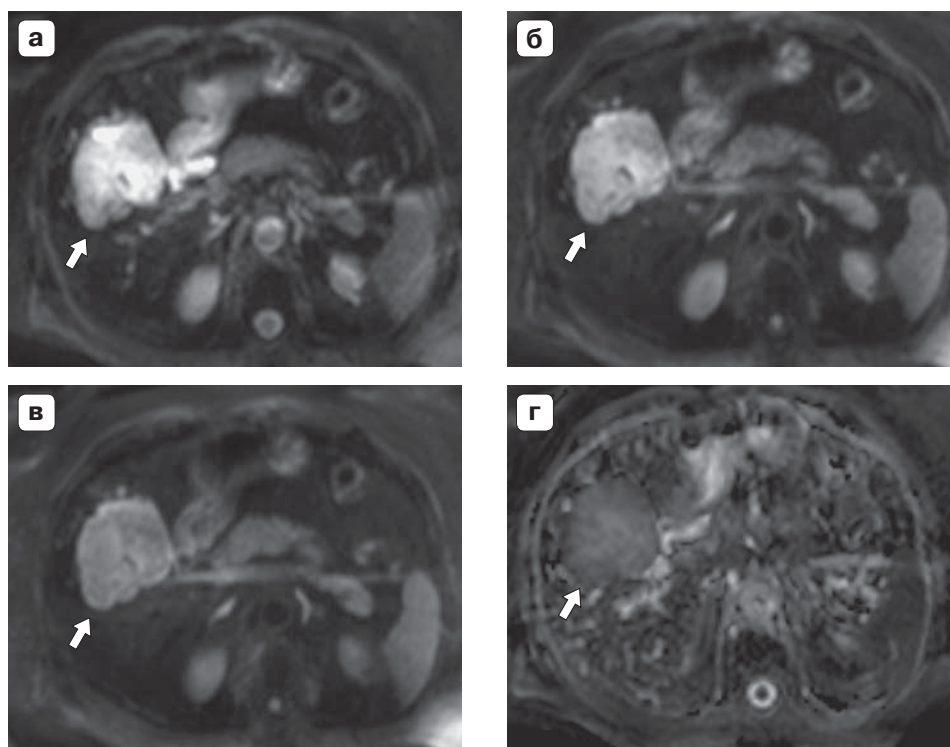


Рис. 12. МР-изображения ХЦР. а – ДВИ, $b = 0 \text{ с/мм}^2$; б – ДВИ, $b = 300 \text{ с/мм}^2$; в – ДВИ, $b = 600 \text{ с/мм}^2$; г – ИКД-карта. Отмечается снижение интенсивности сигнала образования (стрелка) с увеличением фактора b (а–в). Образование имеет повышенный сигнал на ИКД-карте (г) относительно паренхимы печени.

$$\text{РИКД(очаг-печень)} = 0,736 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}.$$

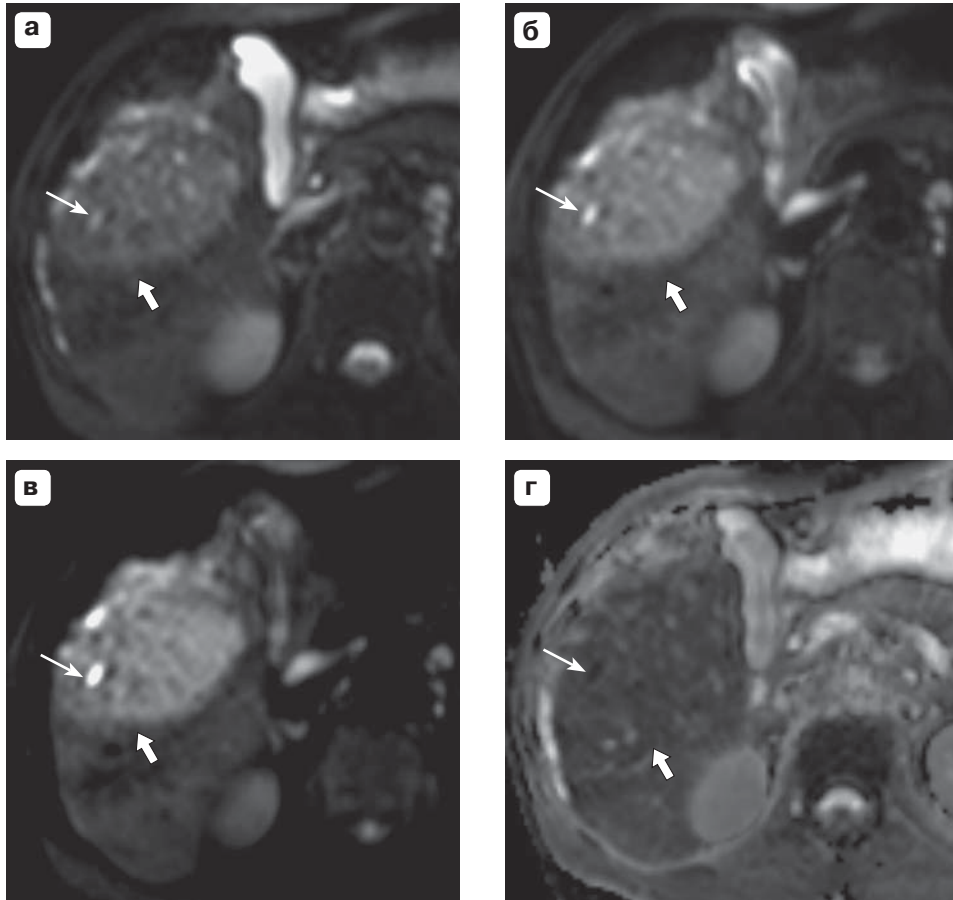


Рис. 13. МР-изображения ГЦР на фоне цирроза печени. а – ДВИ, $b = 0$ с/мм²; б – ДВИ, $b = 300$ с/мм²; в – ДВИ, $b = 600$ с/мм²; г – ИКД-карта. Отмечается увеличение интенсивности сигнала образования (стрелка) с увеличением фактора b (а–в). На ИКД-карте (г) интенсивность сигнала ГЦР ниже, чем интенсивность сигнала окружающей паренхимы печени. В структуре образования визуализируется узел (тонкая стрелка) более интенсивного сигнала на ДВИ (а–в), сниженного сигнала на ИКД-карте.

$$\rho_{\text{ИКД}}(\text{очаг-печень}) = -0,072 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}.$$

ристик и дифференциальной диагностике образований до сих пор остается полемичным. Вероятно, это связано с недостаточным числом исследований значительного количества как доброкачественных, так и злокачественных солидных образований. Разный качественный состав групп также, вероятно, может привести к противоречивым результатам исследований.

Заключение

Наиболее полезными количественными параметрами ДВИ в дифференциальной диагностике очаговых поражений печени являются $\rho_{\text{ИКД}}(\text{очаг-печень})$ и $\rho_{\text{ОИКД}}(\text{очаг/печень})$.

Список литературы / References

1. Kele P.G., van der Jagt E.J. Diffusion weighted imaging in the liver. *Wld J. Gastroenterol.* 2010; 16 (13): 1567–1576.

2. Lee N.K., Kim S., Kim G.H. et al. Diffusion-weighted imaging of biliopancreatic disorders: correlation with conventional magnetic resonance imaging. *Wld J. Gastroenterol.* 2012; 18 (31): 4102–4117.

3. Galea N., Cantisani V., Taouli B. Liver lesion detection and characterization: role of diffusion-weighted imaging. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2013; 37 (6): 1260–1276.

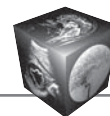
4. Emara D.M., Mohamed F.S., Abdullah A.H. et al. Is diffusion weighted imaging adding value in diagnosis of focal hepatic lesions? Experience in 50 patients. *Alexandria J. Med.* 2013; 3: 1–15.

5. Taouli B., Koh D.M. Diffusion-weighted MR imaging of the liver. *Radiology.* 2010; 254 (1): 47–66.

6. Muller M.F., Prasad P., Siewert B. et al. Abdominal diffusion mapping with use of a whole-body echo-planar system. *Radiology.* 1994; 190: 475–483.

7. Onur M.R., Çiçekçi M., Kayali A. et al. The role of ADC measurement in differential diagnosis of focal hepatic lesions. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (3): e171–e176.

8. Schmid-Tannwald C., Jiang Y., Dahi F. et al. Diffusion-weighted MR imaging of focal liver lesions in the left and



- right lobes: is there a difference in ADC values? *Acad. Radiol.* 2013; 20 (4): 440–445.
9. Bruegel M., Holzapfel K., Gaa J. et al. Characterization of focal liver lesions by ADC measurements using a respiratory triggered diffusion-weighted single-shot echo-planar MR imaging technique. *Eur. Radiol.* 2008; 18 (3): 477–485.
 10. Yoshikawa T., Kawamitsu H., Mitchell D.G. et al. ADC measurement of abdominal organs and lesions using parallel imaging technique. *Am. J. Roentgenol.* 2006; 187 (6): 1521–1530.
 11. Gourtsoyianni S., Papanikolaou N., Yarmenitis S. et al. Respiratory gated diffusion-weighted imaging of the liver: value of apparent diffusion coefficient measurements in the differentiation between most commonly encountered benign and malignant focal liver lesions. *Eur. Radiol.* 2008; 18 (3): 486–492.
 12. Koike N., Cho A., Nasu K. et al. Role of diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of focal hepatic lesions. *Wld J. Gastroenterol.* 2009; 15 (46): 5805–5812.
 13. Акчурина Э.Д., Мершина Е.А., Синицын В.Е. Диффузионно-взвешенные изображения при очаговой патологии печени. *Мед. виз.* 2011; 2: 19–25. Akchurina E.D., Meršina E.A., Sinitsyn V.E. Diffusion-weighted imaging in focal liver lesions. *Meditsinskaya vizualizatsiya.* 2011; 2: 19–25. (in Russian)
 14. Шелкопьяс Э.Н. Некоторые аспекты диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии при очаговых поражениях печени. *Радиология-практика.* 2013; 1: 46–53. Shelkoplyas E.N. Some aspects of diffusion weighted magnetic resonance imaging of focal liver lesions. *Radiologiya-praktika.* 2013; 1:46–53. (in Russian)
 15. Sutherland T., Steele E., van Tonder F., Yap K. Solid focal liver lesion characterisation with apparent diffusion coefficient ratios. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2014; 58 (1): 32–37.
 16. Agnello F., Ronot M., Valla D.C. et al. High-b-value diffusion-weighted MR imaging of benign hepatocellular lesions: quantitative and qualitative analysis. *Radiology.* 2012; 62 (2): 511–519.
 17. Bruegel M., Gaa J., Waldt S. et al. Diagnosis of hepatic metastasis: comparison of respiration-triggered diffusion-weighted echo-planar MRI and five t2-weighted turbo spin-echo sequences. *Am. J. Roentgenol.* 2008 Nov; 191 (5): 1421–1429.
 18. Löwenthal D., Zeile M., Lim W.Y. et al. Detection and characterisation of focal liver lesions in colorectal carcinoma patients: comparison of diffusion-weighted and Gd-EOB-DTPA enhanced MR imaging. *Eur. Radiol.* 2011; 21(4): 832–840.
 19. Kenis C., Deckers F., De Foer B. et al. Diagnosis of liver metastases: can diffusion-weighted imaging (DWI) be used as a stand alone sequence? *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (5): 1016–1023.
 20. Lim K.S. Diffusion-weighted MRI of hepatocellular carcinoma in cirrhosis. *Clin. Radiol.* 2014; 69 (1): 1–10.
 21. Holzapfel K., Eiber M.J., Fingerle A.A. et al. Detection, classification, and characterization of focal liver lesions: Value of diffusion-weighted MR imaging, gadoteric acid-enhanced MR imaging and the combination of both methods. *Abdom. Imaging.* 2012; 37 (1): 74–82.