

ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ КТ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РАННЕЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ОПУХОЛЕЙ ПЕЧЕНИ



Джураева Нигора Мухсумовна¹, Икрамов Адхам Ильхамович², Хайбуллина Зарина Руслановна¹, Амирхамзаев Айбек Турабаевич¹, Вахидова Наргиза Тулкуновна¹, Абдухалимова Ханум Валентиновна¹, Шамирзаев Хаким Эркинович¹, Султанов Алишер Тахирович¹, Магзумова Саодатхон Хабибуллаевна¹, Хурсанова Д.Х.¹

1 - Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В.Вахидова, Республика Узбекистан, г. Ташкент;

2 - Центра развития профессиональной квалификации медицинских работников, Республика Узбекистан, г. Ташкент

ЖИГАР ЎСМАЛАРИНИ ЭРТА ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯЛАШДА КТ ТАСВИРЛАРИНИНГ ТЕКСТУР ТАҲЛИЛИ

Джураева Нигора Мухсумовна¹, Икрамов Адхам Ильхамович², Хайбуллина Зарина Руслановна¹, Амирхамзаев Айбек Турабаевич¹, Вахидова Наргиза Тулкуновна¹, Абдухалимова Ханум Валентиновна¹, Шамирзаев Хаким Эркинович¹, Султанов Алишер Тахирович¹, Магзумова Саодатхон Хабибуллаевна¹, Хурсанова Д.Х.¹

1 - Академик В.Воҳидов номидаги Республика ихтисослаштирилган хирургия илмий-амалий тиббиёт маркази, Ўзбекистон Республикаси, Тошкент ш.;

2 - Тиббиёт ходимларининг касбий малакасини ривожлантириш маркази, Ўзбекистон Республикаси, Тошкент ш.

TEXTURE ANALYSIS OF CT IMAGES IN EARLY DIFFERENTIATION OF LIVER TUMORS

Juraeva Nigora Mukhsumovna¹, Ikramov Adham Ilhamovich², Khaibullina Zarina Ruslanovna¹, Amirkhamzaev Aibek Turabaevich¹, Vakhidova Nargiza Tulkunovna¹, Abdukhalimova Khanum Valentinovna¹, Shamirzaev Hakim Erkinovich¹, Sultanov Alisher Takhirovich¹, Magzumova Saodathon Khabibullaevna¹, Khursanova D.Kh.¹

1 - Republican Specialized Scientific-Practical Medical Center of Surgery named after academician V.Vakhidov, Republic of Uzbekistan, Tashkent;

2 - Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Workers, Republic of Uzbekistan, Tashkent

e-mail: surgery@rscs.uz, cs.75@mail.ru, sao.magzumova@gmail.com

Резюме. Мақолада текстур таҳлилнинг иши ва унинг ўсманнинг патогенологик хусусиятларини эрта аниқлаш учун фойдалари кўрсатилган. Гистопатологик маълумотлар билан таққослаганда тўқималарни таҳлил қилиш ушбу усулнинг жигар ўсмаларини моҳиятини эрта аниқлашда диагностик самарадорлигини аниқлаш, ГЦК ва жигар аденомасининг инвазив бўлмаган фарқлаши шакллари аниқлаш имкониятини беради. Ушбу замона-

вий усул билан хавфсиз ва хавфли ўсмаларни фарқлаш мумкин, чунки ўсманинг гетерогенлиги қанчалик катта бўлса, у шунчалик хавфли ва даволанишга чидамсиз бўлади. Таҳлилда 26 бемор текширилди, улардан 18 нафарида гепатоцеллюляр карцинома (ГЦК) биопсия маълумотларига кўра аниқланди, 8 нафарида эса хавфсиз жигар аденома (ХЖА)си аниқланди. Текстура таҳлил ГЦК ва аденомага мос келадиган баъзи текстура белгиларини аниқлаб ва уларни ажратиб кўрсатди.

Калим сўзлар: текстур таҳлил (ТА), гепатоцеллюляр карцинома (ГЦК), хавфсиз жигар аденома (ХЖА).

Abstract. The article shows the work of texture analysis and its advantages for predicting the pathological characteristics of a tumor. Texture analysis, when compared with histopathological data, provides an opportunity to determine the diagnostic effectiveness of this method in predicting the nature of a tumor lesion of the liver, to determine the patterns of non-invasive differentiation of HCC and liver adenoma. With the use of TA, it is possible to differentiate benign and malignant tumors, which is determined by the heterogeneity of the formation - the more pronounced the heterogeneity of the tumor, the more aggressive and resistant it is to treatment. In the analysis, 26 patients were examined, of which 18 patients were diagnosed with hepatocellular carcinoma (HCC) according to biopsy data, and 8 patients had benign adenoma (BA). Textural analysis made it possible to distinguish and gave certain textural features consistent with HCC and benign adenoma.

Key words: texture analysis (TA), hepatocellular carcinoma (HCC), benign adenoma(BA).

Актуальность проблемы. В последние годы наблюдается возрастающее внимание к текстурному анализу (ТА) КТ и МРТ изображений, позволяющему количественно охарактеризовать невидимую глазом пространственную гетерогенность, развивающуюся в результате генетических и эпигенетических изменений (Чехун В.У. с соавт. 2012; Геращенко Т.С. с соавт. 2013; Lin G., 2017). Отдельными исследованиями показана возможность использования ТА для предсказания патогистологических характеристик опухоли (Vallières M., 2017). Посредством определения внутриопухолевой гетерогенности – т.е. оцифрование ее тканевой структуры может дифференцировать доброкачественные и злокачественные опухоли. Также следует отметить, что чем больше гетерогенность опухоли, тем более она агрессивна

и резистентна к лечению. Однако, методика и показатели ТА нуждаются в стандартизации, нет масштабных исследований по изучению воспроизводимости результатов, что сдерживает внедрение этой прогрессивной технологии в клиническую практику.

Целью работы было: на основании сопоставлений с гистопатологическими данными определить диагностическую эффективность текстурного анализа в предсказании природы опухолевого поражения печени, определить паттерны неинвазивной дифференциации ГЦК и аденомы печени.

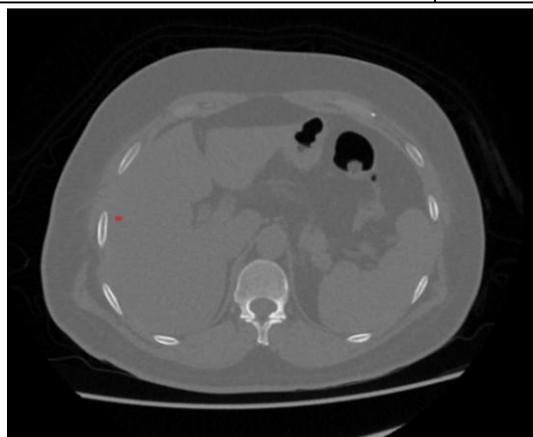
Материалы и методы. Обследовано 26 больных, из них у 18 верифицирована гепатоцеллюлярная карцинома (ГЦК) по данным биопсии, у 8 - доброкачественная аденома (ДА).

Таблица 1. Клинические факторы проверочного набора

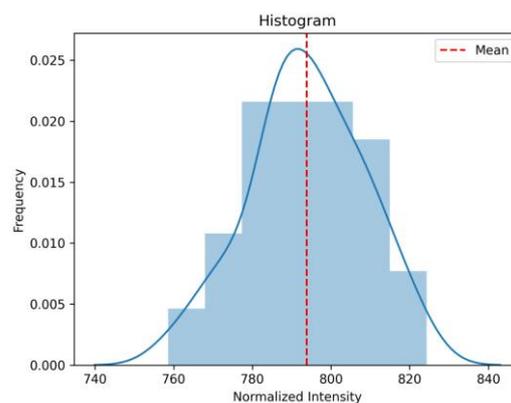
Клинические факторы	Проверочный набор (n = 26)	
	ГЦР (n = 18)	Аденома (n=8)
Пол (мужской/женский)	10/8	6/2
Возраст (среднее значение), год	58(33–78)	27(20-35)
АФП (> 400 ng/mL/≤ 400 ng/mL)	4/14	2/6
Диаметр (среднее значение), мм	44 (11–164)	39(16–134)
Форма (Круглая/Не круглая)	15/3	5/3
Центральный рубец (присутствует/отсутствует)	2/16	1/7
Дегенерация (присутствует/отсутствует)	12/6	6/2
Отложение жира (присутствует/отсутствует)	1/17	0/8
Кальциноз (присутствует/отсутствует)	2/16	1/7
Капсуловидный ободок (присутствует/отсутствует)	8/10	6/2
Дисморфические сосуды (присутствует/отсутствует)	9/9	2/6
Свойства усиления		
Раннее усиление + вымывание	10	5
Раннее усиление + без вымывания	5	2
Другие свойства	3	1

Таблица 2. Статистические свойства пикселей при ГЦК и аденоме печени

Параметр	ГЦК, P1	Аденома, P2	P 1:2
First order entropy	1,357±0,141	1,531±0,296	p>0,05
First order energy	138065930,471±38410157	364596748,877±160443642	p>0,05
First order Skewness	-0,0175±0,1447	-0,107±0,1416	p>0,05
First order Total energy	145031244,1±28486488,58	322477890,4±140797337	p>0,05
First order maximum	688,474±20,5812	694,909±52,9128	p>0,05
First order Robust mean absolute deviation	8,449±0,802	10,881±2,974	p>0,05
First order Root mean squared	1681,298±18,511	1680,56±42,893	p>0,05
First order Range	64,482±7,669	78,956±20,883	p>0,05
First order Median	657,092±18,370	655,142±40,393	p>0,05
First order Mean	657,219±18,507	656,462±42,854	p>0,05
First order Kurtosis	2,703±0,178	2,419±0,191	p>0,05
First order 10th percentile	638,072±17,826	633,526±38,148	p>0,05
First order 90th percentile	676,426±19,649	678,522±49,456	p>0,05
Shape Maximum 2D diameter x-z plane	6,958±0,932	23,503±12,831	p>0,05
Shape Maximum 2D diameter y-z plane	6,944±0,770	8,569±3,309	p>0,05
Shape Maximum 2D diameter x-y plane	7,886±1,033	9,957±3,754	p>0,05
Shape Maximum 3D diameter	8,163±0,967	24,639±13,278	p>0,05
Shape Voxel volume	50,714±9,579	109,6±46,868	p>0,05
Shape Volume	43,25±8,971	101,633±44,449	p>0,05
Shape Sphericity	0,608±0,049	0,549±0,114	p>0,05
Shape Minor axis length	6,433±0,887	8,411±3,542	p>0,05
Shape Major axis length	7,579±1,015	37,436±26,315	p>0,05
Shape Area	110,084±24,869	215,08±108,861	p>0,05



а.



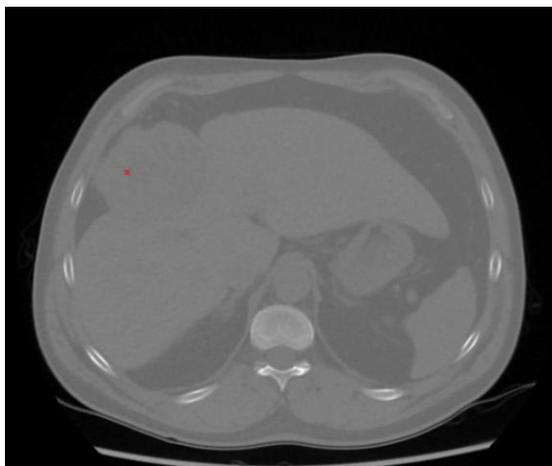
б.

Рис. 1. Аксиальные КТ-изображения гистологически подтвержденной аденомы V сегмента печени. а - установка ROI (область интереса); б) гистограмма распределения вокселей

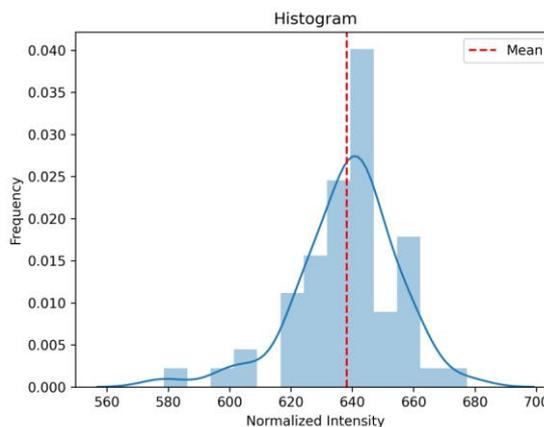
Средний возраст пациентов составил 42 года, первичное обращение было в 70% случаев (табл. 1). Программа TA использована для извлечения 111 текстурных признаков. Признаки первого порядка описывают статистические свойства пикселей выделенной области (37 параметров), в числе которых: коэффициент асимметрии гистограммы, эксцесс (острота пика диаграммы), энтропии (хаотичности) и однородности. Признаки второго и высшего порядка характеризуют корреляцию соседних пикселей и однородность. Высокая степень корреляции интенсивности соседних

пикселей указывает на гладкую текстуру, а малая корреляция – на шероховатую.

Для этого используются матрицы серых уровней GLCM (grey level co-occurrence matrix) – матрица совпадения серых уровней (2 порядок, 19 признаков), GLRLM (grey level run length matrix)-матрица отрезков длины серых уровней (3 порядок, 15 признаков), NGLDM (neighborhood grey level difference matrix) – дифференцированная матрица соседних серых уровней, GLZLM (grey level zone length matrix)- матрица длин зон серых уровней (16 признаков).



а.



б.

Рис. 2. Аксиальные КТ-изображения гистологически подтвержденного ГЦК IV, V, VIII сегментов печени. а - установка ROI (область интереса) ; б) гистограмма распределения вокселей

При обследовании получали следующие гистограммы (Рис. 1, Рис. 2), которые автоматически преобразовывались в цифровые значения.

Результаты. Изучение статистических свойств пикселей (1 порядок), показало, что по величине хаотичности (entropy) пиксели при ГЦК и аденоме печени статистически значимо не отличались, равно как по показателю энергии (First order energy). Средние величины максимума (first order maximum) были близкими – $688,5 \pm 20,5$ и $694,9 \pm 52,9$ а отклонение (First order Robust mean absolute deviation) составило $8,45 \pm 0,80$ и $10,88 \pm 2,97$ при ГЦК и аденоме печени соответственно. Величины асимметрии и эксцесса при злокачественных и доброкачественных опухолях печени также достоверно не отличались. Интерквартильный размах колебаний значений свойств пикселей были близкими, когда 10 перцентиль составил 638,07 и 633,5, а 90 перцентиль - 676,4 и 678,5 при ГЦК и аденоме соответственно. Эти данные показывают, что совокупная оценка статистических свойств пикселей не выявила достоверных отличий между доброкачественными аденомами и ГЦК, что было обусловлено широкой изменчивостью признаков 1 порядка при аденоме. Такие признаки 1 уровня, как энтропия (First energy entropy) и энергии (First order energy) не имели тенденцию к увеличению при ГЦК, хотя и статистически не значимо ($p > 0,05$).

Размеры доброкачественных аденом печени сильно варьировали, чем и обусловлен широкий диапазон их формы и линейно-объемных параметров. Так, параметр максимума 2D x-z плоскости при аденоме составил $23,5 \pm 12,8$, тогда как при ГЦК - $6,95 \pm 0,93$. Как видно из этих результатов, именно широкой вариацией данного показателя при аденомах и обусловлено отсутствие его статистических различий между ГЦК и аденомой.

В целом, статистические свойства пикселей, оцениваемые по признакам первого порядка, статистически значимо не отличались при ГЦК и аденоме (таблица 2). Оценка параметров 1 уровня позволила сделать вывод о широком многообразии форм и линейно-объемных характеристик аденом.

Изучение параметров 2 уровня по матрице совпадения серых уровней GLCM показало, что ГЦК были более гетерогенны и шероховаты, чем аденомы печени, т.к. коэффициент корреляции соседних пикселей был в 1,9 раза выше при аденоме: GLCM Correlation = $0,321 \pm 0,020$ при аденоме против $0,167 \pm 0,074$ при ГЦК соответственно ($p < 0,05$). Другие признаки 2 уровня достоверно не отличались при ГЦК и аденоме, хотя имелась тенденция к увеличению контрастности при ГЦК (GLCM Contrast = $0,88$ против $0,63$ при аденоме), увеличению максимальной вероятности (GLCM Maximum probability до $0,357$ при ГЦК против $0,304$ при аденоме). Отметим, что показатели 2 уровня матрицы GLCM оказались более чувствительны к отличиям между пикселями и вокселями и позволили выявить дифференциально диагностические показатели для определения злокачественных опухолей, в частности, ГЦК: GLCM correlation, который в 1,9 раза выше при доброкачественной аденоме против ГЦК, указывая на ее шероховатую гетерогенную структуру (табл. 3).

Изучение показателей 3 уровня – матрицы отрезков длины серых уровней GLRLM позволило выявить несколько признаков, позволяющих дифференцировать доброкачественную аденому печени от ГЦК: GLRLM Gray level non uniformity normalized – нормализованная неоднородность серого на отрезках была достоверно выше при ГЦК относительно аденомы.

Таблица 3. Оценка по матрице GLSM при ГЦК и аденоме печени

Параметр	ГЦК, P1	Аденома, P2	P1:2
GLCM Autocorrelation	6,437±1,168	6,867±2,634	p>0,05
GLCM Contrast	0,883±0,1271	0,639±0,159	p>0,05
GLCM Correlation	0,167±0,074	0,321±0,020	p<0,05
GLCM Inverse difference moment normalized	0,941±0,008	0,947±0,019	p>0,05
GLCM Joint average	2,374±0,236	2,471±0,496	p>0,05
GLCM Joint entropy	2,552±0,268	2,707±0,394	p>0,05
GLCM Maximum probability	0,357±0,060	0,304±0,0402	p>0,05
GLCM Sum entropy	1,799±0,185	2,067±0,309	P>0,05
GLCM Inverse difference normalized	0,868±0,013	0,883±0,022	p>0,05
GLCM Informational measure of correlation 1,	-0,109±0,019	-0,174±0,140	p>0,05
GLCM Informational measure of correlation 2,	0,434±0,0509	0,476±0,218	p>0,05

Таблица 4. Параметры матрицы отрезков длины серых уровней GLRLM

Параметр	ГЦК, P1	Аденома, P2	P1:2
GLRLM Gray level non uniformity	10,862±2,488	24,665±6,5719	p>0,05
GLRLM Gray level non uniformity normalized	0,424±0,020	0,364±0,013	p<0,05
GLRLM Gray level variance	0,581±0,089	0,701±0,167	p>0,05
GLRLM High gray level run emphasis	6,715±1,112	7,184±2,741	p>0,05
GLRLM Long run emphasis	3,223±0,232	3,656±0,184	p>0,05
GLRLM Long run high gray level emphasis	20,202±1,269	24,815±1,089	p>0,05
GLRLM Long run low gray level emphasis	1,330±0,384	1,086±0,502	p>0,05
GLRLM Low gray level run emphasis	0,383±0,073	0,344±0,151	p>0,05
GLRLM Run Entropy	2,418±0,178	2,825±0,352	p>0,05
GLRLM Run length non uniformity	15,793±3,629	39,376±2,400	p<0,05
GLRLM Run length non uniformity normalized	0,542±0,025	0,47±0,019	p<0,05
GLRLM Run percentage	0,666±0,021	0,628±0,015	p>0,05
GLRLM Run variance	0,678±0,084	0,892±0,028	P<0,05
GLRLM Short run high gray level emphasis	4,923±0,839	4,937±1,986	p>0,05
GLRLM Short run low gray level emphasis	0,251±0,034	0,245±0,095	p>0,05
GLRLM Short run emphasis	0,705±0,028	0,674±0,030	p>0,05

Таблица 5. Параметры матрицы GLSZM при аденоме и ГЦК

Параметр	ГЦК, P1	Аденома, P2	P1:2
GLSZM Gray level non uniformity	3,032±0,470	4,229±2,115	p>0,05
GLSZM - Gray level non uniformity normalized - Value	0,352±0,02	0,369±0,07	p>0,05
GLSZM Gray level variance	0,925±0,123	1,073±0,280	p>0,05
GLSZM High gray level zone emphasis	6,493±1,010	6,187±2,222	p>0,05
GLSZM Large area emphasis	74,078±8,717	314,781±21,233	p<0,05
GLSZM Large area high gray level emphasis	462,682±58,819	1170,667±79,619	p<0,05
GLSZM Large area low gray level emphasis	22,163±6,553	45,183±8,434	p<0,05
GLSZM Low gray level zone emphasis	0,39±0,061	0,202±0,0155	p<0,05
GLSZM Size zone non uniformity	2,945±0,603	3,354±1,854	p>0,05
GLSZM Small area emphasis	0,36±0,063	0,393±0,069	p>0,05
GLSZM Small area high gray level emphasis	2,636±0,724	1,344±0,733	p<0,05
GLSZM Small area low gray level emphasis	0,161±0,032	0,292±0,107	p<0,05
GLSZM Zone entropy	2,319±0,164	2,771±0,177	p>0,05
GLSZM Zone percentage	0,224±0,025	0,137±0,02	P<0,05
GLSZM Zone variance	44,941±20,101	172,963±58,097	p<0,05

В тоже время, показатель GLRLM Gray level variance – вариабельность серого на отрезках и GLRLM Gray level non uniformity – неоднородность серого на отрезках достоверно не отлича-

лись между сравниваемыми группами и имели широкий диапазон изменчивости при аденоме. Это подтверждается параметром вариабельности при пробеге по отрезку (run variance), которая бы-

ла достоверно выше при аденоме - $0,892 \pm 0,028$ против $0,678 \pm 0,084$ при ГЦК, ($p < 0,05$), равно как и показатель неоднородности по длине пробега - GLRLM Run length non uniformity: $15,793 \pm 3,629$ при ГЦГ против $39,376 \pm 4,400$ при аденоме печени ($p > 0,05$) (табл. 4).

Эти данные показывают, что внутри отрезков серых уровней неоднородность серого при доброкачественной аденоме и ГЦК достоверно не отличается в виду высокой изменчивости данных GLRLM на отрезках при аденоме. При этом нормализованный показатель неоднородности (GLRLM Gray level non uniformity normalized) достоверно выше при ГЦК, составив $0,424 \pm 0,05$ против $0,364 \pm 0,01$, указывая на шероховатость и разнородность тканей печени в зоне интереса при ГЦК. Изучение матрицы длин зон серых уровней (GLZLM) показало, что неоднородность серого в зонах (GLSZM Gray level non uniformity), а также и данный нормализованный показатель (GLSZM - Gray level non uniformity normalized - Value) отличались статистически не значимо ($p > 0,05$) при ГЦК и аденоме. Однако, эти параметры широко варьировали при аденоме, что подтвердилось высокой ошибкой среднего. Параметр GLSZM Gray level variance также достоверно не отличался. Это значит, что на протяжении длины зон серые уровни варьировали как при аденоме, так и при ГЦК. При этом выделение зоны с высоким уровнем серого (GLSZM High gray level zone emphasis) было идентичным при ГЦК и аденоме, но большие площади (акцент (преобладание) больших по площади зон - GLSZM Large area emphasis) было достоверно больше при аденоме. GLSZM акцент на высоком уровне серого на большой площади также был достоверно выше при аденоме (GLSZM Large area high gray level emphasis составил $462,6 \pm 58,8$ против $1170 \pm 79,6$), равно как и GLSZM акцент на большой площади с низким уровнем серого (GLSZM Large area low gray level emphasis). Это может означать, что, как высоко-интенсивно серые пиксели, так и низко-интенсивные серые пиксели при аденоме были распределены на больших зонах, не образуя скопления. Размер зоны неравномерности (Size zone non uniformity) достоверно не отличался при аденоме и ГЦК. В то же время, акцент на маленьком участке с высоким уровнем серого (Small area high gray level emphasis) был достоверно чаще при ГЦК, составив $2,63 \pm 0,22$ против $1,34 \pm 0,4$ ($p < 0,05$) что указывает на преобладание малых зон (скоплений) с высоким уровнем серого при ГЦК. Наоборот, малые зоны (скопления) пикселей с низким уровнем серого были характерны для аденом: $0,16 \pm 0,03$ при ГЦК против $0,29 \pm 0,06$ ($p < 0,05$). Энтропия зоны была идентичной при ГЦК и аденоме, тогда процент (соотношение) вы-

деленных зон гетерогенности был выше при ГЦК, а дисперсия зон – выше при аденоме (GLSZM Zone variance = $44,941 \pm 20,1014$ при ГЦК и $172,963 \pm 58,097$ при аденоме).

Таким образом, данные по матрице GLSZM показали, что при доброкачественных опухолях (аденомах) преобладают большие зоны (GLSZM Large area emphasis) с рассеянными пикселями высокой (GLSZM Large area high gray level emphasis) и низкой интенсивности (GLSZM Large area low gray level emphasis) и малые зоны с пикселями низкой интенсивности (GLSZM Large area low gray level emphasis). При ГЦК преобладают малые зоны с пикселями высокой интенсивности (GLSZM Low gray level zone emphasis = $2,63 \pm 0,22$ при ГЦК против $1,34 \pm 0,4$ при ДА ($p < 0,05$)). (табл. 5). Изучение параметров дифференцированной матрицы соседних серых уровней GLDM позволило выявить, что энтропия зависимости (GLDM Dependence entropy) достоверно не отличалась между группами, равно как показатель зависимости неоднородности (GLDM Dependence non uniformity). В тоже время, нормализованный показатель зависимости неоднородности соседних пикселей (GLDM Dependence non uniformity normalized) был достоверно выше при ГЦК: $0,214 \pm 0,011$ против $0,157 \pm 0,019$ при аденоме ($p < 0,05$). Все остальные параметры данной матрицы отличались статистически незначимо при ГЦК и аденоме. Это говорит о том, что соседние пиксели при аденоме имели лишь тенденцию к повышению параметров GLDM Large dependence emphasis и GLDM Large dependence high gray level emphasis (GLDM сильная зависимость выделения и GLDM сильная зависимость выделения высокого уровня серого), а акцент на низком уровне серого (GLDM Low gray level emphasis) был несколько выше при ГЦК: $0,380 \pm 0,079$ против $0,316 \pm 0,137$ (табл. 6).

Изучение параметров высшего уровня позволило выявить, что прочность (NGTDM Strength) была выше при ГЦК: $0,678 \pm 0,178$ против $0,282 \pm 0,109$ ($p < 0,05$). Остальные признаки достоверно не отличались между группами ГЦК и аденомой печени. Так, «занятость» (NGTDM Busyness), грубость (NGTDM Coarseness), сложность (NGTDM Complexity), Контраст (NGTDM Contrast), Среднее значение разницы (GLCM Difference Average) и энтропия разницы (GLCM Difference Entropy) были сравнимы при ГЦК и аденоме при $p > 0,05$ (таблица 7).

Таким образом, как показали наши исследования, для дифференциации ГЦК и аденом параметры 1 уровня не информативны, из матрицы GLCM информативен показатель корреляции соседних пикселей (GLCM Correlation), который был выше при аденоме, указывая на ее большую гомогенность.

Таблица 6. Дифференцированная матрица соседних серых уровней GLDM

Параметр	ГЦК, P1	Аденома, P2	P1:2
GLDM Dependence entropy	3,272±0,192	4,222±0,125	p>0,05
GLDM Dependence non uniformity	8,959±2,019	15,747±8,834	p>0,05
GLDM Dependence non uniformity normalized	0,214±0,011	0,157±0,019	P<0,05
GLDM Gray level nonuniformity	18,455±4,583	42,956±19,109	p>0,05
GLDM High gray level emphasis	6,787±1,192	7,149±2,679	p>0,05
GLDM Large dependence emphasis	15,661±1,311	55,426±36,361	p>0,05
GLDM Large dependence high gray level emphasis	101,99±18,4789	555,04±46,8557	p>0,05
GLDM Low gray level emphasis	0,380±0,079	0,316±0,137	p>0,05
GLDM Small dependence high gray level emphasis	1,272±0,3134	0,538±0,2453	p>0,05
GLDM Small dependence low gray level emphasis	0,0647±0,004	0,0668±0,035	p>0,05

Таблица 7. Матрица NGTDM при аденоме и ГЦК печени

Параметр	ГЦК, P1	Аденома, P2	P1:2
NGTDM Busyness	3,031±1,244	3,041±0,979	p>0,05
NGTDM Coarseness	71428,743±0,108	71428,5582±0,062	p>0,05
NGTDM Complexity	3,099±0,696	2,365±0,973	p>0,05
NGTDM Contrast	0,0672±0,0103	0,0672±0,0208	p>0,05
NGTDM Strength	0,678±0,178	0,282±0,109	p<0,05
GLCM Difference Average	0,641±0,069	0,532±0,088	p>0,05
GLCM Difference Entropy	1,181±0,112	1,163±0,125	p>0,05

Из матрицы GLRLM информативным оказался нормализованный показатель неоднородности (GLRLM Gray level non uniformity normalized), который был достоверно выше при ГЦК, также указывая на ее неоднородность. Параметры матрицы GLSZM оказались наиболее информативными в дифференциации ГЦК и аденом, так достоверные отличия установлены для следующих показателей: GLSZM Large area emphasis (ниже при ГЦК), GLSZM Large area high gray level emphasis (ниже при ГЦК), GLSZM Large area low gray level emphasis (ниже при ГЦК), GLSZM Large area low gray level emphasis (ниже при ГЦК), GLSZM Low gray level zone emphasis (выше при ГЦК). По матрице GLDM был информативен параметр GLDM Dependence non uniformity normalized, который был выше при ГЦК, указывая на ее высокую неоднородность при оценке соседних пикселей. Изучение параметров высшего уровня позволило выявить, что отличия были лишь по одному показателю - прочность (NGTDM Strength), которая была выше при ГЦК.

В целом, по данным текстурного анализа, аденомы характеризовались большим многообразием форм и широкой вариабельностью линейно-объемных параметров, а также статистических свойств пикселей (1 порядок) и большим диапазоном изменений параметров высших уровней. Для аденом была свойственна большая однородность (рис.1), что подтверждается достоверно более низкими показателями матриц GLSM - (correlation), GLRM - (non uniformity normalized), NGLDM - (dependence non uniformity normalized), а также меньшая «прочность» текстуры (NGTDM

Strength). Распределение пикселей при аденомах характеризовалось преобладанием больших зон с рассеянными пикселями высокой и низкой интенсивности (пестрота картины) (рис.2), а также наличием малых зон (скоплений) пикселей низкой интенсивности.

Для ГЦК было характерно следующее: высокая гетерогенность (широта оттенков палитры серого), т.к. показатели матриц GLSM - (correlation), GLRM - (non uniformity normalized), NGLDM - (dependence non uniformity normalized) были достоверно выше, чем при аденоме; большая (в 3 раза) «прочность» текстуры (NGTDM Strength), а также преобладание малых зон (скоплений) пикселей высокой интенсивности.

Выводы.

1. Оценка статистических показателей пикселей (параметров 1 порядка) не выявила достоверных отличий ($p<0,05$) среди всех рассмотренных параметров, что указывает на низкую информативность данной матрицы в дифференциации ГЦК и аденом по МСКТ. В тоже время, исследование параметров 1 порядка позволило сделать вывод о широком многообразии форм и линейно-объемных характеристик аденом.

2. Изучение параметров 2 уровня по матрице совпадения серых уровней GLCM показало, что ГЦК были более гетерогенны и шероховаты, чем аденомы печени, т.к. коэффициент корреляции соседних пикселей был в 1,9 раза выше при аденоме: GLCM Correlation = 0,321±0,020 при аденоме против 0,167±0,074 при ГЦК соответственно ($p<0,05$). Другие признаки 2 уровня достоверно не отличались при ГЦК и аденоме, хотя

имелась тенденция к увеличению контрастности при ГЦК (GLCM Contrast=0,88 против 0,63 при аденоме), увеличению максимальной вероятности (GLCM Maximum probability до 0,357 при ГЦК против 0,304 при аденоме при $p>0,05$).

3. Изучение матрицы GLRLM показало, что внутри отрезков серых уровней неоднородность серого при доброкачественной аденоме и ГЦК достоверно не отличается в виду высокой изменчивости данных GLRLM на отрезках при аденоме. При этом нормализованный показатель неоднородности (GLRLM Gray level non uniformity normalized) достоверно выше при ГЦК, составив $0,424\pm 0,05$ против $0,364\pm 0,01$, указывая на шероховатость и разнородность тканей печени в зоне интереса при ГЦК.

4. Данные по матрице GLSZM показали, что при доброкачественных опухолях (аденомах) преобладают большие зоны (GLSZM Large area emphasis) с рассеянными пикселями высокой (GLSZM Large area high gray level emphasis) и низкой интенсивности (GLSZM Large area low gray level emphasis) и малые зоны с пикселями низкой интенсивности (GLSZM Large area low gray level emphasis). При ГЦК преобладают малые зоны с пикселями высокой интенсивности (GLSZM Low gray level zone emphasis= $2,63\pm 0,22$ при ГЦК против $1,34\pm 0,4$ ($p<0,05$)).

5. Изучение параметров дифференцированной матрицы соседних серых уровней GLDM позволило выявить, что энтропия зависимости (GLDM Dependence entropy) достоверно не отличалась между группами, равно как показатель зависимости неоднородности (GLDM Dependence non uniformity). В тоже время, нормализованный показатель зависимости неоднородности соседних пикселей (GLDM Dependence non uniformity normalized) был достоверно выше при ГЦК: $0,214\pm 0,011$ против $0,157\pm 0,019$ при аденоме ($p<0,05$).

6. Изучение параметров высшего уровня позволило выявить, что прочность (NGTDM Strength) была выше при ГЦК: $0,678\pm 0,178$ против $0,282\pm 0,109$ ($p<0,05$).

Литература:

1. Ходжибекова Ю.М., Ходжибеков М.Х., Ахмедов Б.Р., Паттохов А.Ш., Нигматжанов А.С., Текстуальный анализ КТ-изображений в дифференциации опухолей головы и шеи. Вестник рентгенологии и радиологии | Journal of Radiology and Nuclear Medicine (2022) Том 103, №4–6, 28–35.
2. Clavien, H. Alkadhi, M.A. Patak, MR imaging features for improved diagnosis of hepatocellular carcinoma in the non-cirrhotic liver: multi-center evaluation, Eur. J. Radiol. 84 (10) (2015) 1879e1887.
3. Jepsen P., M.W. Andersen, G.E. Villadsen, P. Ott, H. Vilstrup, Time-trends in incidence and prognosis

of hepatocellular carcinoma in Denmark: a nationwide register-based cohort study, Liver Int. (2016).

4. Lee Y.J., J.M. Lee, J.S. Lee, H.Y. Lee, B.H. Park, Y.H. Kim, J.K. Han, B.I. Choi, Hepatocellular carcinoma: diagnostic performance of multidetector CT and MR imaging—a systematic review and meta-analysis, Radiology 275 (1) (2015) 97e109.
5. Lin M.T., C.L. Chen, C.C. Wang, Y.F. Cheng, H.L. Eng, J.H. Wang, K.W. Chiu, C.M. Lee, T.H. Hu, Diagnostic sensitivity of hepatocellular carcinoma imaging and its application to non-cirrhotic patients, J. Gastroenterol. Hepatol. 26 (4) (2011) 745e750.
6. Nioche C, Orlhac F, Boughdad S, et al. LIFEx: a freeware for radiomic feature calculation in multimodality imaging to accelerate advances in the characterization of tumor Литература [References] heterogeneity. Cancer Res. 2018; 78(16): 4786–9.
7. Shrager B., G. Jibara, M. Schwartz, S. Roayaie, Resection of hepatocellular carcinoma without cirrhosis, Ann. Surg. 255 (6) (2012) 1135e1143.
8. Vallieres M., C.R. Freeman, S.R. Skamene, I. El Naqa, A radiomics model from joint FDG-PET and MRI texture features for the prediction of lung metastases in soft-tissue sarcomas of the extremities, Phys. Med. Biol. 60 (14) (2015) 5471e5496.

ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ КТ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РАННЕЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ОПУХОЛЕЙ ПЕЧЕНИ

Джураева Н.М., Икрамов А.И., Хайбуллина З.Р., Амирхамзаев А.Т., Вахидова Н.Т., Абдухалимова Х.В., Шамирзаев Х.Э., Султанов А.Т., Магзумова С.Х., Хурсанова Д.Х.

Резюме. В статье показана диагностическая эффективность текстурного анализа (ТА) опухолей печени и его возможности для определения патогистологических характеристик опухоли. Текстуальный анализ при сопоставлении с гистопатологическими данными представляет возможность определить диагностическую эффективность данного метода в предсказании природы опухолевого поражения печени, определить паттерны неинвазивной дифференциации ГЦК и аденомы печени. С использованием ТА возможно дифференцировать доброкачественные и злокачественные опухоли, что определяется гетерогенностью образования - чем значительнее выражена гетерогенность опухоли, тем более она агрессивна и резистентна к лечению. В анализе было обследовано 26 больных, из них у 18 верифицирована гепатоцеллюлярная карцинома (ГЦК) по данным биопсии, у 8 - доброкачественная аденома (ДА). Текстуальный анализ позволил отличить и дал определенные текстурные признаки, соответствующие для ГЦК и доброкачественной аденоме.

Ключевые слова: текстуальный анализ (ТА), гепатоцеллюлярная карцинома (ГЦК), доброкачественная аденома (ДА).