

ВОЗМОЖНОСТИ РАДИОМИКИ И ПЕРФУЗИОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ Т-СТАДИИ КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКА

3.1.6 - Онкология, лучевая терапия
(медицинские науки)
3.1.25 - Лучевая диагностика
(медицинские науки)

*Хомутова Е.Ю.

ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» МЗ РФ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- радиомика
- колоректальный рак
- мультиспиральная компьютерная томография
- перфузионная КТ
- метастазирование
- показатели текстуры

АННОТАЦИЯ:

Введение: колоректальный рак (КРР) сохраняет высокие показатели заболеваемости в мире и в России: являясь третьим по распространенности злокачественным заболеванием в РФ. Почти половина случаев рака этой локации диагностируется на III-IV стадии, что сопровождается ограниченным объемом помощи (как правило, только паллиативного характера). Возможности массового проведения эндоскопической колоноскопии со взятием биопсии (достаточного количества материала) для последующего патогистологического исследования ограничены. Дополнительно период пандемии COVID-19 оказал негативное влияние на неоптимальную организацию эндоскопических исследований толстой кишки, что уже привело к возрастающему нежеланию пациентов профилактически обследоваться с помощью инвазивных сложных диагностических процедур, к нарастанию запущенности злокачественной метаплазии и к увеличению роста выявления КРР на поздних стадиях. Использование современных технологий компьютерной инженерии (в первую очередь определение показателей радиомики), при совмещении их с функциональными показателями перфузионной КТ, может быть оптимальным решением проблемы неинвазивного определения степени ЗНО толстой кишки.

Цель: представить собственный опыт определения Т-стадии колоректального рака с помощью функциональных и текстурных параметров (радиомики) для последующего планирования лечебной тактики и контроля за эффективностью лечения.

Материал и методы: в ретроспективное исследование были включены 22 пациента в возрасте от 48 до 72 лет. Всем пациентам была проведена виртуальная колоноскопия (КТ-колонография), с внутривенным болюсным контрастированием одним из этапов, которого было проведение КТ-перфузии. Использование пакета программы перфузионной КТ (CT Perfusion) позволило получить функциональные карты перфузии, которые были представлены в цвете, графиках и в числовых данных для большого количества функциональных показателей. Также были определены текстурные параметры, которые рассчитывались на основе меченых КТ-срезах программой ITK SNAP, замеры для каждой области опухоли были произведены с использованием приложения pyRadiomics (на базе Python).

Результаты: все 22 пациента были включены в расчетную серию, из них 5 пациентов подгруппы КРР с М0 и 17 пациентов подгруппы КРР с М1. Было собрано и обработано 108 параметров радиомики. С помощью дерева решений были выделены 7 правил, на основании которых были определены 3 функциональных показателя (BV и МТТ в опухолевой ткани и FED в лимфоузле) и 2 текстурных параметра (форма: протяженность и GLRLM), взаимосвязь которых имеет важное значение и могут прогнозировать с высокой вероятностью распределение по подгруппам КРР с метастазами и без них.

Заключение: представлен первый исследовательский опыт поиска и совмещения функциональных и текстурных показателей при ПКТ для определения гистологической степени ЗНО толстой кишки.

Для цитирования. Хомутова Е.Ю. «ВОЗМОЖНОСТИ РАДИОМИКИ И ПЕРФУЗИОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ Т-СТАДИИ КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКА». Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2024; 18(2.1): 47–53.

POSSIBILITIES OF RADIOMICS AND PERFUSION COMPUTED TOMOGRAPHY FOR DETERMINING THE T-STAGE OF COLORECTAL CANCER

*Khomutova E. Yu.

FSBEI HPE «Omsk state medical University» Ministry of healthcare of the Russian Federation

KEY-WORDS:

- radiomics
- colorectal cancer
- multislice computed tomography
- perfusion CT
- metastasis
- texture indicators

ABSTRACT:

Introduction: colorectal cancer (CRC) remains a high incidence disease in the world and in Russian Federation: being the third most common malignant disease in the Russian Federation. Almost half of these cases of cancer in this location are diagnosed at stage III-IV, which is accompanied by a limited amount of possible care (as a rule, only palliative care). Possibilities of mass endoscopic colonoscopy with biopsy (a sufficient amount of material) for subsequent pathohistological examination are limited. Additionally, the COVID-19 pandemic period had a negative impact on the suboptimal organization of endoscopic colon examinations, which has already led to an increasing reluctance of patients to be prophylactically examined using invasive complex diagnostic procedures, an increase in the neglect of malignant metaplasia, and to an increase in the detection of CRC in late stages. The use of modern computer engineering technologies (primarily the determination of radiomics indicators), when combined with functional indicators of perfusion CT, may be the optimal solution to the problem of non-invasive determination of the degree of colonic CRC.

Aim: was to present our own experience in determining the T-stage of colorectal cancer using functional and textural parameters (radiomics) for subsequent planning of therapeutic tactics and monitoring the effectiveness of treatment.

Material and methods: the retrospective study included 22 patients aged 48 to 72 years. All patients underwent virtual colonoscopy (CT colonography), with bolus contrast, one of stages of which was CT perfusion. The use of CT Perfusion software package produced functional perfusion maps that were presented in color, graphs, and numerical data for a large number of functional parameters. Texture parameters were also determined, which were calculated on the basis of labeled CT sections by the ITK SNAP program, measurements for each tumor area were made using the pyRadiomics application (Python).

Results: all 22 patients were included in calculated series, of which 5 patients were in the CRC subgroup without metastases and 17 patients were in the CRC subgroup with metastases. 108 radiomics parameters were collected and processed. Using a decision tree, 7 rules were identified, on the basis of which 3 functional indicators were determined (BV and MTT in tumor tissue and FED in the lymph node) and 2 texture parameters (shape: length and GLRLM), the relationship of which is important and can be predicted with high probability distribution into subgroups of CRC with and without metastases.

Conclusion: the first research experience of searching and combining functional and textural indicators in perfusion computed tomography to determine the histological degree of colon cancer is presented.

Введение

Колоректальный рак (КРР) сохраняет высокие показатели заболеваемости и смертности в России и мире [1]. Ежегодно в Российской Федерации регистрируется в среднем более 39 тыс. новых случаев, показатели смертности от КРР определяются на третьей позиции в структуре общих показателей летальности в стране [2]. В последние 15 лет были достигнуты значительные успехи в лечении КРР, включая хирургические вмешательства, лучевую и химиотерапию, которые несколько повысили показатели пятилетней и общей выживаемости [1-3]. Назначение и контроль за новыми видами лечения (в первую очередь таргетного направления, таких как ингибиторы сигнальных путей и ингибиторы ангиогенеза) требуют более точного определения локорегиональной протяженности опухоли, прогноза ее отдельного распространения (метастазирования), предполагаемой оценки эффективности терапии [3,4].

Виртуальная колоноскопия (ВКС) или КТ-колонография (КТК) - методика КТ-диагностики новообразований, аномалий развития, дивертикулов и воспалительных поражений толстой кишки [5,6]. Приоритетным направлением ВКС является

выявление неопластических изменений толстой кишки, с определением стадий TNM у больных КРР, в планировании разных видов лечения и контроле за ним [3-5,7]. Также ВКС выявляет внекишечные патологические изменения в рамках уровня исследования, а при МСКТ органов живота и/или органов грудной клетки (при дополнении уровня исследования) определяет вторичные отдаленные неопластические поражения (метастазы) [5,6]. В клинической практике во многих российских больницах ВКС уже используется в качестве основной рутинной диагностической процедуры, особенно в массовом поисковом варианте полипов и КРР, как альтернатива эндоскопической колоноскопии [3,8,9]. Несмотря на распространенность ВКС, методика имеет ограничение при дифференциации опухолевого процесса, даже если проводится с этапом внутривенного болюсного контрастирования, в основном при введении неионных йодсодержащих низкоосмолярных мономеров [6,7].

Ключевым признаком последовательности развития полип (аденома)-карцинома (КРР) был признан показатель ангиогенеза, как признак раннего развития рака [6,10-12]. В ряде

Таблица 1.

Общие характеристики группы пациентов

Характеристика	Средний возраст	Пол	Стадия (Т)	N	Размеры ЗНО (мм)	
					Макс. протяженность	Макс. ширина
Группа пациентов с КРР (M ₀)	63,11 ± 6,90	м	Т3	3	35,22 ± 12,61	20,5 ± 82
		ж		2		
Группа пациентов с КРР (M ₁)	68,81 ± 4,42	м	Т3	12	60,12 ± 4,88	26,13 ± 14
		ж		5		

исследований такие гистологические маркеры ангиогенеза, как плотность микрососудов на объем (MVD) и фактор роста эндотелия сосудов (VEGF), использовались в качестве важных прогностических факторов КРР [13]. Стандартная ВКС (КТ-колонография) не позволяет количественно решить подобную задачу [6,8,9].

Перфузионная КТ - методика функциональной визуализации, уже занявшая свою нишу в диагностике острого инсульта, в определении острой фазы воспалительных заболеваний паренхиматозных органов, при оценке васкуляризации злокачественных новообразований (ЗНО) для определения фенотипа опухолей в отсутствие или недостаточной биопсии ткани [10,11,14]. В настоящее время для решения последней из перечисленных задач можно надежно использовать перфузионные КТ-показатели: время кровотока (BF), объем кровотока (BV) и среднее время транзита (МТТ) и другие, исследуя всю опухоль [3,4]. На сегодняшний день, за прошедший пятнадцатилетний период, проведено мало исследований, посвященных изучению возможностей ПКТ при колоректальном раке [3,4,10,11,15,16]. Согласно результатам этих исследований были определены ряд параметров ПКТ (среди них - объем крови (BV) и среднее время транзита (МТТ), соотношение сосудистой проницаемости к площади поверхности, средняя плотность микрососудов (MVD)), связанные между собой. Их взаимосвязь доказана, но спорна в отношении к параметрам колоректального рака [16,17]. Ряд исследований сообщает, что все параметры ПКТ для КРР важны и некоторые из них связаны, даже могут считаться прогностическими индикаторами дифференцировки степеней и стадий рака толстой кишки [14,18]. ПКТ-параметры: кровотока (BF), среднего времени транзита (МТТ) и время до пика контрастирования (ТТР) использовались для определения прогностического роста опухоли [14,15], также параметр среднего времени транзита кровотока (МТТ) различался среди разных по степени дифференцировки среди злокачественных опухолей толстой кишки [15,19].

Несомненно, обе методики ВКС и ПКТ по-отдельности уже оценены в клинической практике, но алгоритм их последовательного проведения редок [20]. При небольшом опыте комбинированного КТ-исследования (ВКС+ПКТ) толстой кишки такие параметры, как форма, размеры патологических находок, их интенсивность, определяются в большей степени как усредненные или обобщенные измерения или величины [3,21].

В последние годы на медицинских изображениях, с помощью компьютерных программ и методов, было идентифицировано много количественных параметров - параметров радиомики, среди которых особенности текстуры изображения, пространственное распределение, неоднородность интенсивности вокселей и др. [13,19,22,23]. Параметры текстуры (радиомики) в ряде исследований в последние годы были определены, есть опубликованные результаты, демонстрирующие их значимость и потенциальную полезность в определении тяжести КРР на предоперационном этапе [18,20,23,24]. В литературе представлены единичные результаты в комплексном определении параметров (при КТП и

радиомическом анализе), которые свидетельствуют о недостаточном опыте разработок.

Цель: представить собственный опыт определения Т-стадии колоректального рака с помощью функциональных и текстурных параметров (радиомики) для последующего планирования лечебной тактики и контроля за эффективностью лечения.

Материал и методы

В исследование ретроспективно (из научной архивной базы за 2012-2018 гг.) были включены 33 пациента (с наличием полного архива КТ-изображений и клинической истории болезни), в возрасте от 48 до 72 лет. Письменного согласия пациентов не требовалось, поскольку наше исследование являлось ретроспективным, КТ-колонографию и ПКТ проводились в рамках регулярных обследований. У всех пациентов Т-стадия КРР была подтверждена интраоперационно. Исключались пациенты с долихоколон. Окончательно в активную выборку были определены 22 пациента. Среди них у 5 пациентов не было метастазов, у остальных 17 пациентов определялось метастазирование. Характеристика пациентов представлена в **таблице 1**. Метастатическую опухоль определяли с показателями Т >3 (на основании последующих хирургического и патологоанатомического исследований), неметастатическую опухоль - со стадией Т <3. Первоначально всем пациентам группы рутинно проводилась виртуальная колоноскопия (ВКС), выявившая КРР. Выявленные в ходе исследования характеристики новообразований были внесены в протоколы интерпретации (с обязательным указанием их локализации, размеров, описания формы, других репрезентативных оценок).

Всем пациентам была выполнена программа перфузионной КТ (ПКТ), с болюсным внутривенным контрастированием (как 2 этап исследования). Всем пациентам группы этапы МСКТ-исследования проводились на Brilliance 64 (фирмы Philips Healthcare Германия). Из технических показателей: коллимация детектора - 32x1,5 мм; время вращения трубки - 0,5 мм; сила тока трубки 120 мА, напряжение - 120 кВ. Собранные изображения были реконструированы с толщиной 3 мм и шагом 1,5 мм. Четырем пациентам из общей группы (в период лечения для динамического наблюдения) исследование проводилось на двух-энергетическом МСКТ (Discovery, фирмы GE, США). Из технических показателей: коллимация детектора - 48x1,5 мм; время вращения трубки - 0,32 мм; сила тока трубки - 100 (120) мА при напряжении - 120 кВ (100 кВ). Собранные изображения были реконструированы с толщиной 3,5 мм и шагом 3 мм.

Подготовка всех пациентов к ВКС и КТП предполагала полное очищение толстой кишки и проводилась двумя способами: с постановкой клизм («до чистой воды») или только приемом пероральных препаратов [3,6,9]. Перед проведением ВКС пациентам внутримышечно был поставлен спазмолитический препарат (Дротаверин) за 0,5-1 час до исследования. Во время сканирования подавалась голосовое сообщение о необходимости ровного неглубокого дыхания, чтобы исключить (значительно сократить) дыхательные артефакты.

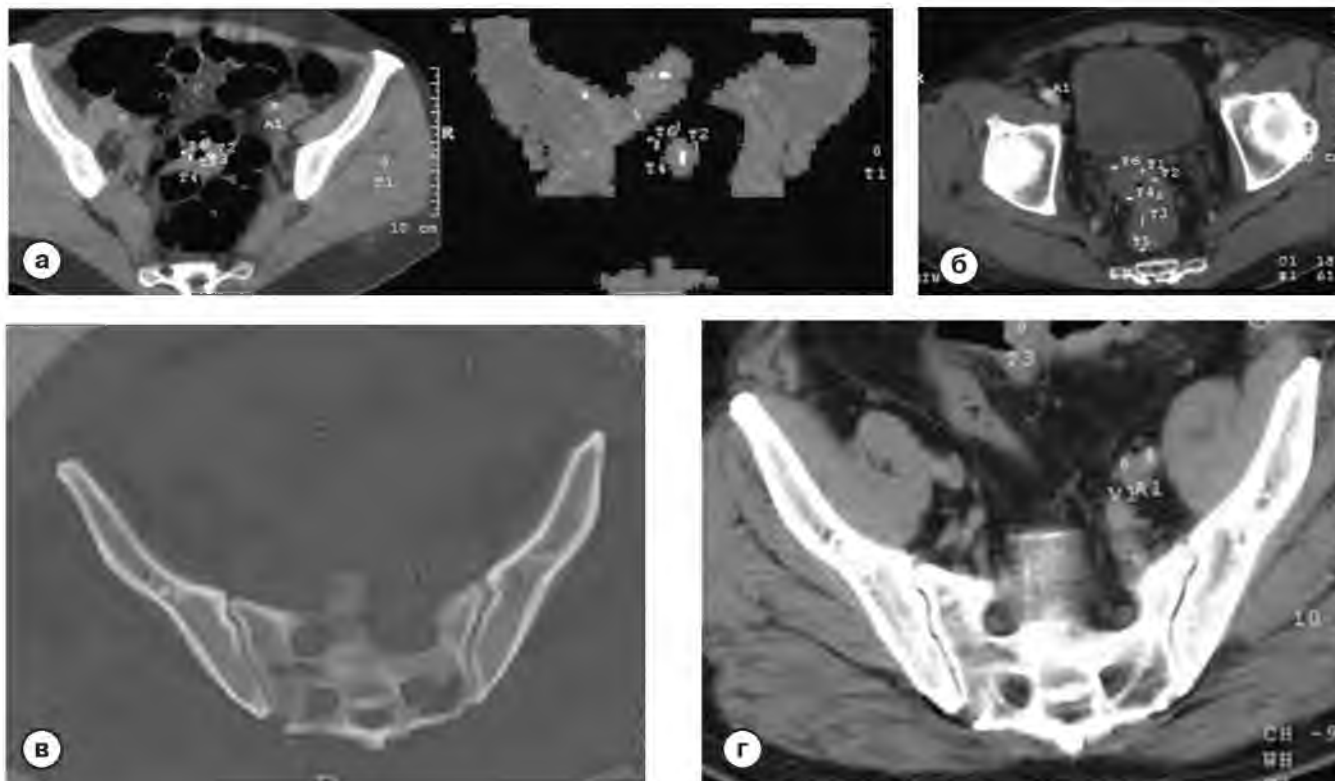


Рис. 1. Примеры разметки ROI (5 мм) и замеры параметров в опухолевой ткани, в области лимфоузла, и другие - у разных пациентов (T - замеры в опухолевой ткани, A - в лимфоузле, S - в неповрежденной кишечной стенке или мышце (как контрольный замер)).

а - КТ (скан на уровне ЗНО сигмовидной кишки) и цветная карта КТП, примеры разметки и замеры ROI (T2-T6 в опухолевой ткани, A1 - в лимфоузле, T1 - в большой ягодичной мышце);

б - КТ (скан на уровне ЗНО ректосигмоидной области), примеры разметки и замеры ROI (T2-T6 в опухолевой ткани, A1 в лимфоузле, T1 - в большой ягодичной мышце, R - в артерии);

в - КТ-перфузионная цветная карта, пример замеров ROI в опухолевой ткани (T1-3), в неповрежденной кишечной стенке (S1), в лимфоузле (A1);

г - КТ-скан на уровне ЗНО в ободочной кишке, пример замеров ROI в опухолевой ткани (T1-3), в неповрежденной кишечной стенке (S1), в лимфоузле (A1).

Диапазон ПКТ-сканирования определялся после проведения ВКС (в среднем от уровня диафрагмы легких до нижнего края лобкового симфиза, что, как правило, позволяло включить все отделы толстой кишки). Для ПКТ использовали 50 мл неионного йодсодержащего контрастного препарата (iopromide, Ultravist 370; Bayer, Germany), через инжектор (с подключением через локтевую вену внутривенно), со скоростью 4-5 мл/с. Восьмерым пациентам после введения 50 мл Ультрависта, вводили 40 мл физиологического раствора. По программе ПКТ сканирование начиналось в среднем через 5-7 секунд после начала введения контрастного вещества, проходило в течение 40 секунд со временем цикла в 1,5 секунды собирались 28-30 изображений (срезов).

Параметры при КТ-перфузии (функциональные показатели)

Функциональные карты представлены в цвете, графиках для следующих показателей: объем крови (BV - blood volume, мл/100 г. ткани), среднее время транзита (MTT - mean transit time, сек.) и уровень кровотока (BF - blood flow, мл/100 г/min), время до пика контрастирования (PTT - peak transit time, сек), извлечение потока (FED - flow extraction). Также определялись параметры: плотности микрососудов на объем (MVD - microvessel density, %), показатель максимальной интенсивности усиления (PEI - peak enhancement intensity, HU). Область интереса (ROI - region of interest) определялась вручную со стандартной (постоянной) площадью в 5 мм в опухолевой тка-

ни (несколько раз, на всем протяжении), в ткани лимфоузла (лимфоузлов) и вдоль нормальной кишечной стенки. Циркулярная ROI определялась путем рисования круга (в среднем 5 мм) в области левой большой ягодичной мышцы, как контрольный параметр (**рис. 1**). Реконструкция изображений проводилась по стандартным протоколам и передавалась на рабочую станцию Extended Brilliance Workspace (Philips Healthcare, Нидерланды, версия 3.5.0.2250:), которая позволяла работать в различных форматах, включая пакет программы перфузионной КТ (CT Perfusion), где проводились необходимые измерения.

Функциональные и текстурные параметры рассчитывались на основе меченых КТ-срезах (**рис. 2**), в общей сложности было определено 130 параметров, из них 108 параметров радиомики. Для расчета параметров радиомики использовалась бесплатная программа ИТК SNAP, с открытым исходным кодом. Области опухоли вручную были размечены двумя опытными рентгенологами, последовательно, на нескольких срезах (**рис. 2**). Примеры представлены на **рисунках 1-2**, формы опухолей (и замеров соответственно) отличаются. Расчет 108 параметров радиомики (использовались усредненные параметры нескольких областей измерения на каждом ПКТ-изображении) для каждой области опухоли был произведен с использованием приложения pyRadiomics (на базе Python). Все 22 пациента были включены в расчетную серию,

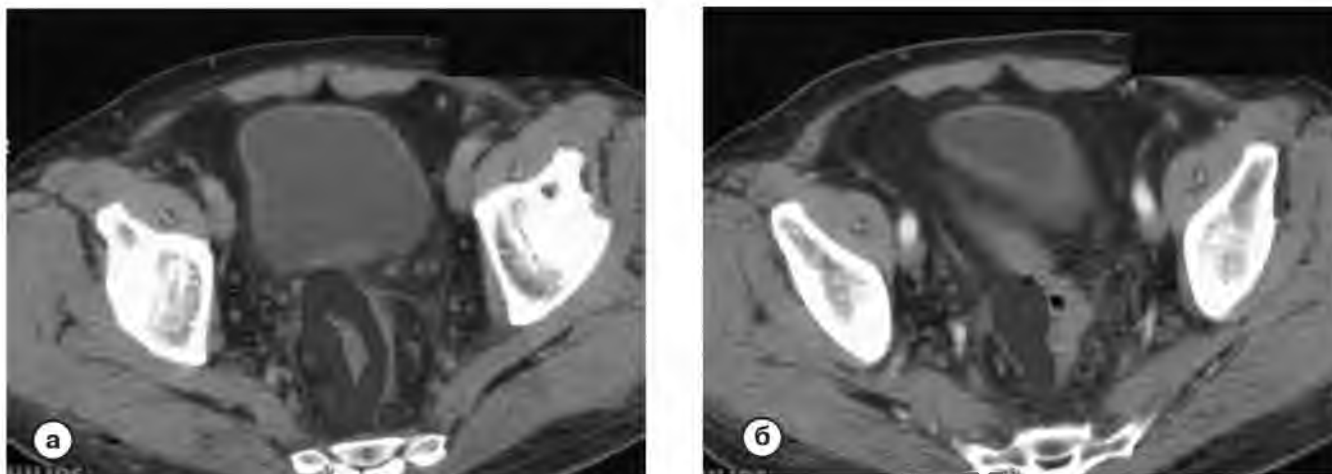


Рис. 2. ВКС. Репрезентативные области опухоли, помеченные цветом.
а - KPP с M0;
б - KPP с M1.

Таблица 2. Правила параметров для определения Т-стадии KPP

Группы	n/N	Параметры радиомики		Функциональные параметры		
		Форма: протяженность	GLRLM	FED	BV	MTT
M ₁	15/17	>0,512		>6,92	>5,64	≤8,91
	1/17	≤0,512	≤142,31	>6,92	>5,64	≤8,91
	1/17	≤0,601		≤6,92		
M ₀	3/5	>0,601		≤6,92		
	1/5	≤0,512	>142,31	>6,92	>5,64	>10,4
	1/5			>6,92	≤5,64	>10,4

из них 5 пациентов подгруппы KPP с M0 и 17 пациентов подгруппы KPP с M1.

Для формирования последовательности решений и определения правил между функциональными и текстурными параметрами для определения Т-стадирования KPP, экстраполируя результаты ряда исследований, нами использовался метод дерева решений, дополненный критериями индекса (примеси) Джини (использовался пакет Python, программа анализа данных Scikit-learn) [25]. Метод дерева решений (математический анализ, описывающая процесс принятия решения путем рассмотрения альтернатив и последствий выбора той или иной имеющейся альтернативы; используется в случаях, когда будущие сценарии или исход прогнозических операций не ясны) позволил сгруппировать характеристики пациентов как атрибуты, ими были функциональные и радиомические параметры, а классом - была Т-стадия KPP [25].

Результаты

На основе анализа дерева решений было выявлено 7 правил метастазирования опухоли (табл. 2). Среди них три были правилами в группе с метастазами, а остальные три правила - в группе без метастазов. Соотношение пациентов (n/N) представлено в таблице 2, где n - число пациентов, удовлетворяющих правилу, а N относится к числу пациентов либо в подгруппе с метастазами, либо в подгруппе без метастазов. Всего из 130 параметров было выбрано 5 для определения 7 правил. Среди них два были радиомикронными параметрами, а остальные 3 параметра - функциональными. Двумя текстурными параметрами были форма: протяженность и GLRLM (Gray-Level Run-Length Matrix - показатель неоднородности

длины пробега - матрица, содержащая число линейных примитивов заданной длины с акцентом по данному направлению).

Тремя функциональными параметрами были значение FED (извлечение потока) в лимфоузле и показатели BV (объема крови) и MTT (среднее время транзита) в опухоли. Согласно полученным результатам, для подгруппы KPP с M1 с использованием метода дерева решений необходимы и текстурные параметры и ПКТ-параметры (функциональные).

В таблице 1 представлено, что первое правило в обеих группах имело самые высокие соотношения по количеству пациентов (в подгруппе с M0: 33/22 = 67,7%, в подгруппе с M1: 5/3 - 60%), на каждую группу были определены 3 параметра. Число отобранных пациентов по первому правилу в подгруппе с M1 и в подгруппе с M0 составляло большую долю из общей группы, что свидетельствует о том, что они являются общими характеристиками. По сравнению с остальными 4 из 6 правил, которые были обнаружены у малого числа пациентов, первые два правила имели большее значение.

Для первого правила в подгруппе с M1 - у 15 из 17 пациентов были следующие характеристики: форма: протяженность >0,512, а показатель FED в лимфоузле >6,92; показатель BV в опухоли >5,64, MTT в опухоли <8,91. Для первого правила с подгруппе с M0 общими характеристиками были форма, протяженность >0,601, экстракция потока в лимфоузле (FED) <6,92. Показатель соотношения форма: протяженность описывает взаимосвязь между двумя крупнейшими главными компонентами в отмеченной области [8]. Этот показатель (форма: протяженность) участвовал в первом правиле обеих подгрупп и указывает на то, что формы опухоли связана с наличием метастазов.

Помимо параметра формы: протяженности, мы учитывали три функциональных (ПКТ) параметра: FED в лимфоузле, BV и MTT в опухоли. Значение параметра FED лимфоузла в подгруппе M1 было больше, чем в подгруппе M0. Значение MTT было ниже в подгруппе с M1, чем в подгруппе M0.

Таким образом, на основе четырех параметров:

1. форма: протяженность;
2. FED: в лимфоузле;
3. BV;
4. MTT в опухоли, группа высокого риска (первое правило в подгруппе с метастазами) и группа низкого риска (первое правило в подгруппе без метастазов) могут быть идентифицированы.

Таким образом, эти четыре параметра могут быть использованы для определения T-стадии колоректального рака.

Обсуждение

Согласно Рекомендациям Европейского общества желудочно-кишечной эндоскопии (ESGE) и Европейского общества гастроинтестинальной и абдоминальной радиологии (ESGAR) - обновление 2020 г. - виртуальная колоноскопия (КТ-колонография) в настоящее время является зрелой технологией с доказанной эффективностью в парадигме массовых исследований толстой кишки по поиску полипов, KPP и решения проблем, связанных с различной патологией толстой кишки в клинической практике. Несмотря на возрастающую доступность и все более широкое применение ВКС, особенности КТ-изображения для оценки гистологической степени опухоли до настоящего времени субъективны из-за вариабельности КТ-картины KPP и недостаточного врачебного опыта. В последние годы параметры перфузионной КТ привлекли большое внимание научного сообщества, поскольку методику ПКТ начали активно применять в клинической практике. Исследования показали, что параметры КТ-перфузии можно применять для оценки реакции опухоли на определенное лечение и даже прогнозировать ее эффективность [14,18,24]. В исследовании после неoadьювантной лучевой и химиотерапии кровоток, BVD, MTT и показатель сосудистой проницаемости значительно изменились у пациентов с раком ректосигмоидного отдела толстой кишки после химиотерапии. С введением в алгоритм ВКС этапа перфузионной КТ, используя современные методы компьютерной инженерии, можно извлечь высокопроизводительные количественные параметры радиомики, сочетая их с функциональными параметрами ПКТ [14,18,24].

Список литературы/References

1. Сайт Глобальная онкологическая обсерватория (GCO) (открытый информационный источник). Global Cancer Observatory website (open source) [In Russ]. <https://gco.iarc.who.int/today/en>
2. Злокачественные новообразования в России в 2022 году (заболеваемость и смертность). Под ред. Каприна А.Д., Старинского В.В., Шахзадовой А.О. Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена - филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» МЗ РФ, 2022; 239.
Malignant neoplasms in Russia in 2022 (morbidity and mortality). Edited by Kaprin AD, Starinsky VV, Shakhzadova AO. The state of oncological care for the Russian population in 2022. M.: P.A. Herzen MNIIOI - branch of FGBU NMC Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2022; 239 [In Russ].
3. Хомутова Е.Ю., Игнатьев Ю.Т., Филиппова Ю.Г. Компью-

терные параметры текстурного анализа продемонстрировали значительный устойчивый потенциал при оценке дифференциации KPP. Наиболее значимыми среди всех использованных в нашем исследовании параметров радиомики были - форма: протяженность и GLRLM. Эти параметры сложно определить только визуально и описать. По сравнению с традиционно используемыми клиническими параметрами (в том числе функциональными ПКТ-параметрами), параметры радиомики могут четко обозначать, подробно и более достоверно определять, область опухоли на КТ-изображениях, что и является их потенциальной ценностью. В настоящем исследовании мы сначала изучали роль функциональных параметров КТ-перфузии в оценке гистологической степени KPP. Показатель FED лимфоузла в группе с метастазирующей опухолью был больше, чем в группе без метастазирования. Также было определено, что метастатическом поражении лимфатический узел преимущественно имеет более активное кровоснабжение, что впоследствии увеличивает предполагаемые КТ-перфузионные показатели.

Дополнительные сложности возникают при определении и измерении этих параметров при моно- и двухэнергетических КТ-аппаратах. Большой комплексный опыт нужен в оценке возрастающей лучевой нагрузки при комплексном КТ-исследовании (в том числе для пациентов разных конституциональных групп) [26], в определении единого технического подхода и последовательности этапов исследования.

Выводы

1. Использование сочетания определенных при КТ-перфузии функциональных параметров (FED лимфоузла, BVD и MTT опухоли) и параметров текстурного анализа (форма, протяженность, GLRLM) может быть не только наилучшим решением для определения T-степени KPP, но и опосредованно определять прогноз эффективности специфической и дорогой терапии ЗНО толстой кишки (в первую очередь, ректосигмоидной локации). Подобный опыт использования комбинации параметров необходим для последующих разработок для оценки гистологической степени KPP, как варианта неинвазивной биопсии при проведении ВКС с этапом КТ-перфузии.
2. Перспективой накопления полноценного количественного и качественного исследовательского опыта в этой научной сфере будет разработка приложения для программного обеспечения КТ-станций для получения необходимых показателей «одним кликом» компьютерной мыши, что важно для практического использования в медицине.

терно-томографическая перфузия в оценке динамики лечения рака прямой кишки. *Диагностическая и интервенционная радиология*. 2010; 4(1): 29-33.

Khomutova EY, Ignatiev YT, Filippova YG. Computer tomographic perfusion in the assessment of treatment dynamics of rectal cancer. *Diagnostic and interventional radiology*. 2010; 4(1): 29-33 [In Russ].

4. Dou Y, Yingying L, Xiancheng K, Shangying Y. T staging with functional and radiomics parameters of computed tomography in colorectal cancer patients. *Medicine (Baltimore)*. 2022; 101(21): e29244.

<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000029244>

5. Spada C, Hassan C, Bellini D, Burling D, et al. Imaging alternatives to colonoscopy: CT colonography and colon capsule. European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) and European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology

(ESGAR) Guideline - Update 2020. *Endoscopy*. 2020; 52(12): 1127-1141.

<https://doi.org/10.1055/a-1258-4819>

6. Garcia-Figueiras R, Baleato-Gonzalez S, Padhani AR, et al. Advanced imaging techniques in evaluation of colorectal cancer. *Radiographics*. 2018; 38: 740-765.

<https://doi.org/10.1148/rg.2018170044>

7. Wu J, Zhang Q, Zhao Y, et al. Radiomics Analysis of Iodine-Based Material Decomposition Images With Dual-Energy Computed Tomography Imaging for Preoperatively Predicting Microsatellite Instability Status in Colorectal Cancer. *Front Oncol*. 2019; 9: 1250.

8. Хомутова Е.Ю., Игнатьев Ю.Т., Филиппова Ю.Г., Скрипкин Д.А. Автоматическое обнаружение новообразований при виртуальной колоноскопии. *Медицинская визуализация*. 2010; 1: 111-116.

Khomutova EYu, Ignatiev YT, Filippova YG, Skripkin DA. Automatic detection of neoplasms during virtual colonoscopy. *Medical Visualization J*. 2010; 1: 111-116 [In Russ].

9. Хомутова Е.Ю., Игнатьев Ю.Т., Филиппова Ю.Г. и др. ВКС-семиотика колоректального рака по данным виртуальной колоноскопии. *Сибирский онкологический журнал*. 2011; S2: 85-86.

Khomutova EYu, Ignatiev YT, Filippova Yu, et al. CTC-semiotics of colorectal cancer according to virtual colonoscopy. *Siberian Journal of Oncology*. 2011; S2: 85-86 [In Russ].

10. Kim JE, Lee JM, Baek JH, et al. Differentiation of poorly differentiated colorectal adenocarcinomas from well- or moderately differentiated colorectal adenocarcinomas at contrast-enhanced multidetector CT. *Abdom. Imaging*. 2015; 40: 1-10.

<https://doi.org/10.1007/s00261-014-0176-z>

11. Dighe S, Blake H, Jayadevan N, et al. Perfusion CT vascular parameters do not correlate with immunohistochemically derived microvessel density count in colorectal tumors. *Radiology* 2013; 268: 400-410.

<https://doi.org/10.1148/radiol.13112460>

12. Liang C, Huang Y, He L, et al. The development and validation of a CT-based radiomics signature for the preoperative discrimination of stage I-II and stage III-IV colorectal cancer. *Oncotarget*. 2016; 7: 31401-31412.

13. Li W, Jiang Z, Guan Y, et al. Whole-lesion apparent diffusion coefficient first- and second-order texture features for the characterization of rectal cancer pathological factors. *J. Comput. Assist. Tomogr*. 2018; 42: 642-647.

<https://doi.org/10.18632/oncotarget.8919>

14. Sun H, Xu Y, Yang Q, Wang W. Assessment of tumor grade and angiogenesis in colorectal cancer: whole-volume perfusion CT. *Acad. Radiol*. 2014; 21(6): 750-757.

<https://doi.org/10.1016/j.acra.2014.02.011>

15. Dou Y, Tang X, Liu Y, Gong Z. T stage prediction of colorectal tumor based on multiparametric functional images. *Transl Cancer Res*. 2020; 9 (2): 522-528.

<https://doi.org/10.21037/tcr.2019.11.41>

16. Dighe S, Blake H, Jeyadevan N, et al. Perfusion CT vascular parameters do not correlate with immunohistochemically derived microvessel density count in colorectal tumors. *Radiology*. 2013; 268: 400-410.

<https://doi.org/10.1148/radiol.13112460>

17. Kim JW, Jeong YJ, Chang NK, et al. Perfusion CT in colorectal cancer: comparison of perfusion parameters with tumor grade and microvessel density. *Korean J. Radiol*. 2012; 13(Suppl. 1): S89-97.

<https://doi.org/10.3348/kjr.2012.13.S1.S89>

18. Khalaf LMR, Megal PE, El-Sharkawy M, et al. The reliability of the computed tomography perfusion parameters as a predictor of colorectal cancer grade: influence of tumor region of interest position. *Egypt. J. Radiol. Nucl. Med*. 2020; 51, 43.

<https://doi.org/10.1186/s43055-020-00166-6>

19. Sun Y, Hu P, Wang J, et al. Radiomic features of pretreatment MRI could identify T stage in patients with rectal cancer: Preliminary findings. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2018.

<https://doi.org/10.1002/jmri.25969>

20. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data. *Radiology*. 2016; 278: 563-577.

<https://doi.org/10.1148/radiol.2015151169>

21. van Griethuysen JJM, Fedorov A, Parmar C, et al. Computational radiomics system to decode the radiographic phenotype. *Cancer Res*. 2017; 77: e104-e107.

<https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-17-0339>

22. Huang X, Cheng Z, Huang Y, et al. CT-based radiomics signature to discriminate high-grade from low-grade colorectal adenocarcinoma. *Acad. Radiol*. 2018; 25: 1285-1297.

<https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.01.020>

23. Huang YQ, Liang CH, He L, et al. Development and validation of a radiomics nomogram for preoperative prediction of lymph node metastasis in colorectal cancer. *J. Clin. Oncol*. 2016; 34: 2157-2164.

<https://doi.org/10.1200/JCO.2015.65.9128>

24. Yong Ch, Jingyu Zh, Lan W, et al. Robustness of CT radiomics features: consistency within and between single-energy CT and dual-energy CT. *European Radiology*. 2022; 32(8): 5480-5490.

<https://doi.org/10.1007/s00330-022-08628-3>

25. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage*. 2006; 31: 1116-1128.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.015>

26. Хомутова Е.Ю., Скрипкин Д.А., Буркова А.М. Вопросы лучевой нагрузки при виртуальной колоноскопии. *Медицинская визуализация*. 2009; 2: 59-62.

Khomutova EYu, Skripkin DA, Burkova AM. Questions of radiation exposure at virtual colonoscopy. *Medical Visualization J*. 2009; 2: 59-62 [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ХОМУТОВА ЕЛЕНА ЮРЬЕВНА - [ORCID: 0000-0001-9508-2202]

д.м.н., доцент, заведующая кафедрой лучевой диагностики, ФГБОУ ВО Омский государственный медицинский университет МЗ РФ, 644099 Российская Федерация, г. Омск, ул. Некрасова, 5.

Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании

Автор данной статьи заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Данная работа не имела внешнего (грантового) финансирования.

Информированное согласие не требовалось,

ретроспективно использовалась и анализировалась архивная база пациентов.