ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ОБЪМНЫЕ ПЭТ-БИОМАРКЕРЫ ПРИ ЛИМФОМЕ ХОДЖКИНА. ПЕРВЫЙ ОПЫТ АВТОМАТИЧЕСКОГО И РУЧНОГО МЕТОДОВ ОЦЕНКИ

Асланиди И.П., Метелкина М.В., Мухортова О.В., Пурсанова Д.М., Шурупова И.В., Манукова В.А.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России. г. Москва, Россия.

Цель. Сопоставить значения объемных ПЭТ-биомаркеров – общего метаболического объема опухоли (MTV) и общего уровня гликолиза (TLG) – у больных лимфомой Ходжкина (ЛХ) при использовании автоматического и ручного методов выделения патологических очагов.

Материалы и методы. Ретроспективно проанализированы результаты ПЭТ/КТ- исследований, выполненных 24 пациентам с ранними (n=14) и распространенными стадиями (n=10) впервые выявленной ЛХ. Исследования проводились на ПЭТ/КТ-сканере (Biograph-64, Siemens) через 90 минут после внутривенного введения 18F-ФДГ (175-200 МБк) в режиме обследования «всего тела». Показатели MTV и TLG рассчитывались двумя методами – ручным и автоматическим, с использованием для каждого двух абсолютных пороговых значений отсечки фона: SUVmax ≥ 2,5 и SUVmax ≥ 4,0.

Результаты. В группе в целом (n=24) средние значения и стандартные отклонения объемных ПЭТ-биомаркеров, полученные при автоматическом и ручном методе выделения патологических очагов, значимо не различались (p > 0,05) и составили: для MTV при пороговом значении SUVmax ≥ 2,5 – 365±469 см³ и 357±428 см³, при SUVmax ≥ 4,0 – 215±285 см³ и 209±266 см³; для TLG при SUVmax ≥ 2,5 – 1870±2168 см³ и 1849±2080 см³, при SUVmax ≥ 4,0 – 1356±1628 см³ и 1352±1621 см³ соответственно. Однако при анализе подгрупп больных с различными стадиями заболевания более выраженные различия показателей, полученные между двумя методами обработки, определялись у пациентов с распространенным процессом. Следует отметить, что автоматический метод выделения очагов требовал значительно меньшего времени.

Заключение. Показатели объемных ПЭТ-биомаркеров – MTV и TLG, рассчитанные автоматическим и ручным методом, существенно не различаются. Первоначальный опыт показал, что оба метода могут использоваться при ЛХ, при этом автоматический метод подсчета является существенно менее трудоемким.

Ключевые слова: ПЭТ/КТ, 18F-фтордезоксиглюкоза, лимфома Ходжкина, тотальный метаболический объем опухоли, общий уровень гликолиза, MTV, TLG.

Контактный автор: Метелкина М.В., e-mail: metelkina.masha@yandex.ru

Для цитирования: Асланиди И.П., Метелкина М.В., Мухортова О.В., Пурсанова Д.М., Шурупова И.В., Манукова В.А. Объмные ПЭТ-биомаркеры при лимфоме ходжкина. Первый опыт автоматического и ручного методов оценки. REJR 2022; 12(1):80-88. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-1-80-88.

Статья получена: 15.02.22 **Статья принята: 14.03.22**

VOLUMETRIC PET-BIOMARKERS IN HODGKIN'S LYMPHOMA. THE INITIAL EXPERIENCE OF AUTOMATIC AND MANUAL METHODS OF EVALUATION

Aslanidis I.P., Metelkina M.V., Mukhortova O.V., Pursanova D.M., Shurupova I.V., Manukova V.A.

A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery. Moscow, Russia.

Purpose. To compare the volumetric of PET-biomarkers – the total metabolic tumor volume (MTV) and the total lesion glycolysis (TLG) – in Hodgkin's lymphoma patients using automatic and manual methods for pathological foci segmentation.

Material and methods. This retrospective study included 24 Hodgkin's lymphoma patients with different stages who underwent staging with 18F-FGD PET/CT. The examinations exams were carried out on a PET/CT scanner (Biograph-64, Siemens) 90 minutes after intravenous administration of 18F-FDG (175-200 MBq) in the “whole body” regime. The examinations were processed with automatic (MFS) and manual methods to obtain MTV and TLG using two fixed absolute thresholds (SUVmax ≥ 2,5 и SUVmax ≥ 4,0) for each lesion.

Results. In the group (n=24), there were no statistical differences between the mean values and SD obtained by automatic (multi-foci segmentation – MFS) and manual methods ($p > 0.05$). The values amounted, respectively, for the MTV 365±469 cm³ and 357±428 cm³ for the SUVmax ≥ 2,5 threshold and 215±285 cm³ and 209±266 cm³ for the SUVmax ≥ 4,0 threshold; for the TLG 1870±2168 cm³ and 1849±2080 cm³ for the SUVmax ≥ 2,5 threshold and 1356±1628 cm³ and 1352±1621 cm³ for the SUVmax ≥ 4,0 threshold. The analysis of patients with different stages of disease was also done. More pronounced differences in the indicators were revealed in patients with disseminated disease. The time for MTV and TLG calculation was much shorter when automatic (MFS) method was used.

Conclusion. The calculation of MTV and TLG using automatic (MFS) and manual methods are generate similar results, but automatic method much less time consumes. Initial experience has shown that both methods can be used in Hodgkin's lymphoma patients.

Keywords: PET/CT, 18F-fluorodeoxyglucose, Hodgkin's lymphoma, metabolic tumor volume, total lesion glycolysis, MTV, TLG.

Corresponding author: Metelkina M.V., e-mail: metelkina.masha@yandex.ru

For citation: Aslanidis I.P., Metelkina M.V., Mukhortova O.V., Pursanova D.M., Shurupova I.V., Manukova V.A. Volumetric PET-biomarkers in hodgkin's lymphoma. The initial experience of automatic and manual methods of evaluation. REJR 2022; 12(1):80-88. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-1-80-88.

Received: 15.02.22 **Accepted:** 14.03.22

В связи с появлением новых возможностей эффективного лечения различных онкологических заболеваний идет широкий поиск точных прогностических факторов, которые могут влиять на выбор лечебной тактики. В этом ключе, при использовании позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), активно изучаются объемные ПЭТ-биомаркеры – общий метаболический объем опухоли (MTV) и общий уровень гликолиза (TLG) [1 - 4]. MTV – это сумма метаболических объемов всех опухолевых очагов, определяемых при ПЭТ/КТ, характеризует опухолевую нагрузку; TLG – общий уровень гликолиза в выявленных опухолевых очагах, характеризует агрессивность опухоли. Методики вычисления MTV и TLG в настоящее время не стандартизированы. В доступных публикациях используются различные программы для их определения и различные критерии для оконтуривания патологических очагов, что исключает возможность применения данных показателей в клинической практике [6 - 9]. В настоящее время идет процесс поиска наиболее простых и быстрых методов вычисления объемных ПЭТ-биомаркеров.

Программное обеспечение для обработки ПЭТ/КТ-данных, предоставляемое

фирмами-производителями диагностического оборудования, позволяет использовать два метода вычисления MTV и TLG: автоматический и ручной. Сложности ручного метода вычисления объемных ПЭТ-биомаркеров связаны с включением в сферическую зону интереса рядом расположенных областей с физиологическим накоплением радиофармпрепарата (РФП) и необходимостью их ручного исключения из подсчета MTV и TLG, а также с длительностью выделения большого количества патологических очагов у пациентов с диссеминированным процессом [6 - 9]. При автоматическом подсчете MTV и TLG необходимость ручной коррекции выделенных патологических очагов от прилежащих зон с физиологическим накоплением РФП возникает реже, а общее время вычисления указанных показателей существенно меньше [9 - 11].

Цель исследования.

Сопоставление значений объемных ПЭТ-биомаркеров (MTV и TLG), рассчитанных при автоматическом и ручном методах выделения патологических очагов, у больных лимфомой Ходжкина (ЛХ).

Материалы и методы.

Ретроспективно были проанализированы результаты ПЭТ/КТ, выполненных 24 пациентам с ранними (n=14) и распространенными (n=10) стадиями впервые выявленной ЛХ.

В анализируемую группу (n=24) вошли 16 женщин и 8 мужчин; средний возраст – 33,3±11,1 лет (14–55 лет); четырнадцать пациентов (58%) со II стадией ЛХ, четверо (17%) с III и шестеро (25%) с IV стадией. У всех пациентов диагноз был верифицирован гистологически.

Всем больным ПЭТ/КТ-исследование выполнялось по стандартному протоколу. Подготовка к исследованию включала сутки безуглеводной диеты и не менее 6 часов голодания. Исследования проводились на совмещенном ПЭТ/КТ-сканере (Biograph-64, Siemens), после гидратации (пероральный прием 1-1,5 литров воды) и через 90 минут после внутривенного введения 175-200 МБк 18F-фтордезоксиглюкозы (18F-ФДГ) в режиме обследования «всего тела» (от уровня глазниц до верхней трети бедра включительно). Последовательно выполнялись рентгеновская компьютерная томография (КТ) и ПЭТ-сканирование. КТ-сканирование проводилось в низкодозном режиме (120 kV и 70-120 mA); ПЭТ-сканирование выполнялось в краниокаудальном направлении, по 3 минуты на каждое положение стола сканера. Реконструкция ПЭТ-данных осуществлялась по итерационному алгоритму OSEM (2 итерации и 14 подмножеств).

Обработка результатов ПЭТ/КТ-исследований проводилась с применением коммерческого программного обеспечения syngo.via (Siemens). Показатели MTV и TLG рассчитывались двумя методами – ручным и автоматическим, с использованием для каждого двух абсолютных пороговых значений отсечки фона: SUVmax (максимальный стандартизованный уровень накопления РФП) ≥ 2,5 и SUVmax ≥ 4,0.

При использовании ручного метода вычисления объемных ПЭТ-биомаркеров проводилась ручная обводка каждого патологического очага с первоначальным выделением сферической зоны интереса и последующим оконтуриванием очага по заданному пороговому значению отсечки фона – SUVmax ≥ 2,5 и SUVmax ≥ 4,0 [6, 7, 9]. Проводилась коррекция обводки патологического очага от прилежащих зон с физиологическим накоплением. Затем автоматически вычислялся метаболический объем и уровень гликолиза в каждом из патологических очагов с последующим их суммированием (рис. 1 а, 2 а).

При использовании автоматического метода вычисления объемных ПЭТ-биомаркеров методом мультифокальной сегментации, выделение патологических очагов проводилось автоматически после определения области интереса, включающей все патологические очаги, и выбора порогового значения отсечки фона [9 - 11]. Для этого на изображении в коронарной проекции прямоугольной рамкой выделялась область, включающая все очаги патологического гиперметаболизма, при необходимости выбранная область корректировалась на изображениях в аксиальной и сагиттальной проекциях. Все выделенные очаги просматривались и в ручном режиме проводилось исключение ошибочно выбранных зон с физиологическим накоплением препарата (такие, как головной мозг, небные миндалины, почки, мочевой пузырь или мочеточники) (рис. 3). В оставленных патологических очагах вычисление MTV и TLG осуществлялось автоматически (рис. 1 б, 2 б).

Результаты.

Полученные значения объемных ПЭТ-биомаркеров, рассчитанные ручным и автоматическим методом, с использованием для каждого, двух пороговых значений отсечки фона: SUVmax ≥ 2,5 и SUVmax ≥ 4,0, представлены в таблице №1.

В проанализированной группе (n=24) средние значения и стандартные отклонения

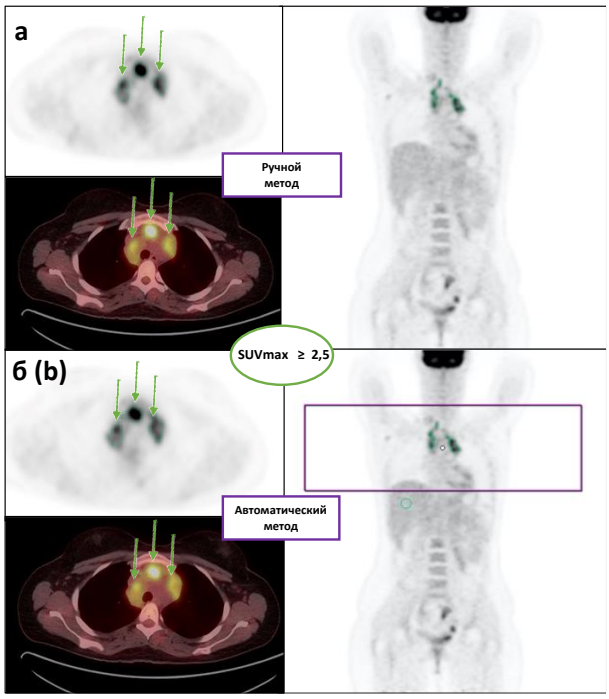

Рис. 1 (Fig. 1)

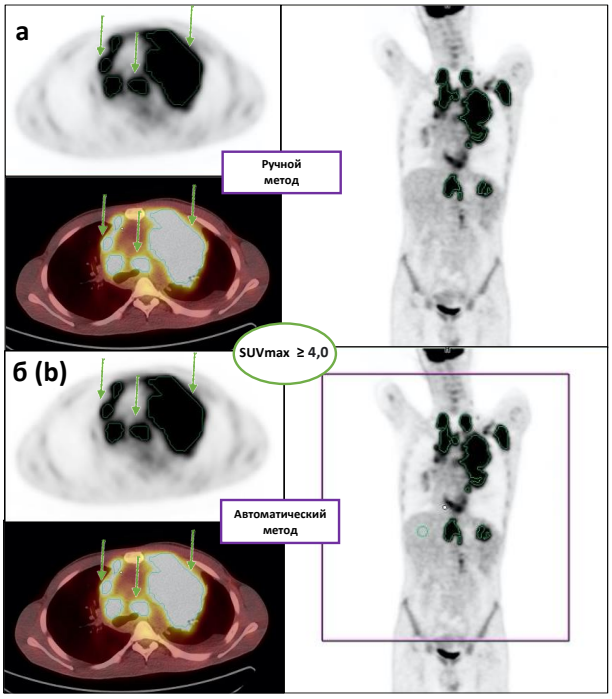

Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 1. ПЭТ и фузионированный ПЭТ/КТ-скан в аксиальной плоскости, ПЭТ в корональной плоскости.

Сравнение ручного (а) и автоматического (б) методов расчета MTV и TLG с пороговым значением отсечки фона SUVmax ≥ 2,5, у пациентки с лимфомой Ходжкина IIA ст., с поражением правых надключичных и медиастинальных лимфоузлов. При автоматическом методе: MTV = 50 см³, TLG = 166 см³; при ручном методе: MTV = 51 см³, TLG = 170 см³.

Fig. 1. PET and fused PET/CT in axial reconstractions, PET in coronal reconstractions.

Comparison of manual (a) and automatic (b) methods for calculating MTV and TLG with a SUVmax ≥ 2.5 threshold in a patient with IIA stage Hodgkin's lymphoma, with lesions to the right supraclavicular and mediastinal lymph nodes. Automatic method: MTV = 50 cm³, TLG = 166 cm³; manual method: MTV = 51 cm³, TLG = 170 cm³.

Рис. 2. ПЭТ и фузионированный ПЭТ/КТ-скан в аксиальной плоскости, ПЭТ в сагиттальной плоскости.

Сравнение ручного (а) и автоматического (б) методов расчета MTV и TLG с пороговым значением отсечки фона SUVmax ≥ 4,0 у пациента с лимфомой Ходжкина IVB ст., с поражением периферических, медиастинальных лимфоузлов (bulky disease) с инфильтрацией мягких тканей передней грудной стенки, легкого, лимфоузлов ворот печени, забрюшинных лимфоузлов, селезенки. При автоматическом методе: MTV = 1015 см³, TLG = 6069 см³; при ручном методе: MTV = 957 см³, TLG = 5827 см³.

Fig. 2. PET and fused PET/CT in axial reconstractions, PET in coronal reconstractions.

Comparison of manual (a) and automatic (b) methods for calculating MTV and TLG with SUVmax ≥ 4.0 threshold in a patient with IVB stage Hodgkin's lymphoma, with lesions of peripheral, mediastinal lymph nodes (bulky disease) with soft tissue infiltration of the anterior chest wall, lung, intraperitoneal and retroperitoneal lymph nodes, spleen. Automatic method: MTV = 1015 cm³, TLG = 6069 cm³; manual method: MTV = 957 cm³, TLG = 5827 cm³.

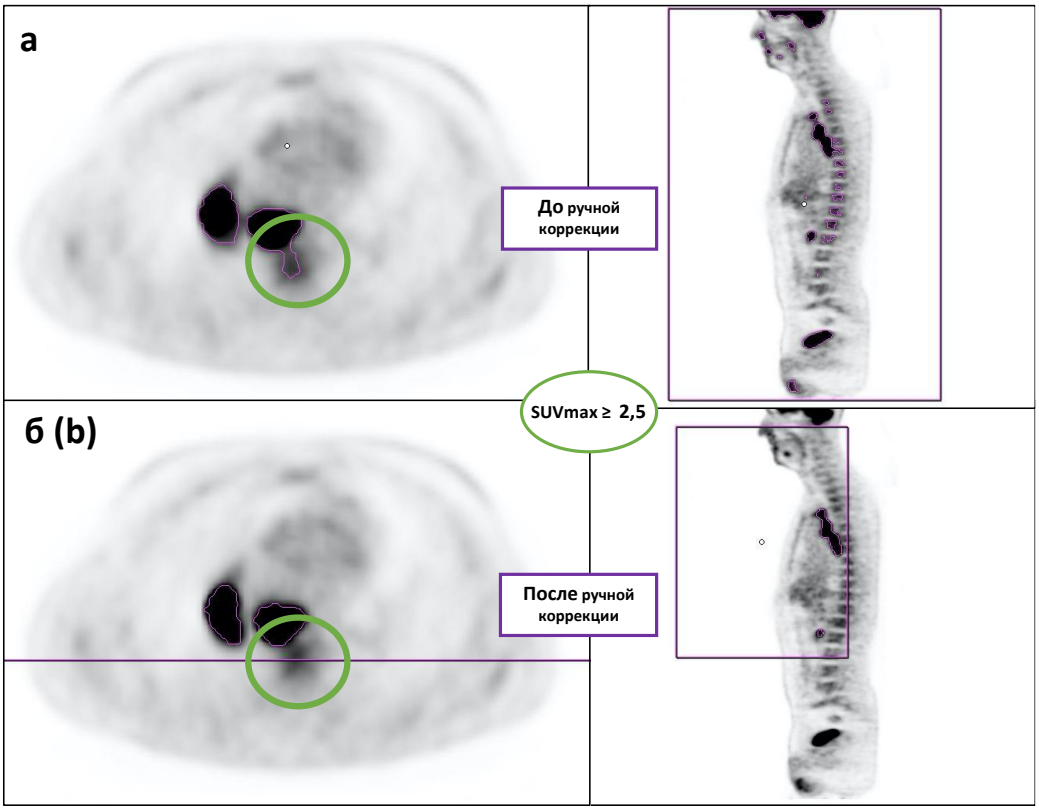

Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. ПЭТ-изображения в аксиальной и сагиттальной плоскостях.

Пример автоматического расчета MTV и TLG с пороговым значением отсечки фона SUVmax ≥ 2,5, у пациента с лимфомой Ходжкина IIIB ст., с поражением шейных, надключичных, медиастинальных, внутрибрюшинных, забрюшинных лимфоузлов, селезенки. а – до ручной коррекции выделения патологических очагов; б – после ручной коррекции выделения патологических очагов и исключения областей с физиологическим накоплением РФП (в ротоглотке, костном мозге позвоночника, почках). Зеленым кругом указана зона с физиологическим накоплением препарата в костном мозге позвоночника, до (а) и после (б) ручной коррекции (путем сужения прямоугольной рамки, включающей очаги патологического гиперметаболизма).

Fig. 3. PET images in axial and sagittal reconstractions.

An example of automatic calculation of MTV and TLG with a threshold SUVmax ≥ 2.5 in a patient with IIIB stage Hodgkin's lymphoma, with lesions of the cervical, supraclavicular, mediastinal, intraperitoneal, retroperitoneal lymph nodes, spleen. a - before manual correction of the segmentation of pathological foci; b – after manual correction of the segmentation of pathological foci and exclusion of areas with physiological accumulation of the radiopharmaceutical (in the oropharynx, bone marrow of the spine, kidneys). The green circle indicates the zone with physiological accumulation of the radiopharmaceutical in the bone marrow of the spine, before (a) and after (b) manual correction (by narrowing the rectangular frame, which includes foci of pathological hypermetabolism).

Таблица №1. Результаты ручного и автоматического методов расчета MTV и TLG, для пороговых значений SUVmax ≥ 2,5 и SUVmax ≥ 4,0.

Пациенты	$SUV_{max} \geq 2,5$				$SUV_{max} \geq 4,0$			
	Автоматический метод		**Ручной метод**		**Автоматический метод**		**Ручной метод**	
	MTV	**TLG**	**MTV**	**TLG**	**MTV**	**TLG**	**MTV**	**TLG**
1	50	166	51	170	6	33	7	36
2	371	2026	372	2026	250	1637	250	1637
3	38	155	39	156	13	73	13	76
4	243	1234	244	1239	150	939	120	832
5	218	1142	222	1163	120	832	124	853
6	212	1532	213	1532	159	1361	159	1351
7	468	3972	533	4283	320	3512	348	3773
8	1756	8391	1587	7808	1015	6069	957	5827
9	467	1717	468	1721	117	593	119	603
10	43	167	43	168	16	79	16	82
11	87	366	88	367	40	215	40	216
12	58	245	58	245	22	130	22	130
13	94	420	96	422	43	218	43	218
14	1220	4186	1056	3832	736	2273	654	2027
15	208	908	213	891	113	634	116	613
16	534	4005	624	4318	386	3824	414	3956
17	47	173	48	175	18	85	18	87
18	92	423	92	423	46	187	40	187
19	1516	6321	1420	5940	940	3909	867	3765
20	217	1306	217	1308	164	1149	164	1149
21	436	3865	503	4007	288	3405	316	3613
22	35	162	36	164	11	82	11	82
23	198	1213	200	1216	110	905	114	924
24	156	806	156	806	94	412	94	412

объемных ПЭТ-биомаркеров, полученные при автоматическом и ручном методах выделения патологических очагов, значимо не различались ($p > 0,05$) и составили: для MTV при пороговом значении SUVmax ≥ 2,5 – 365±469 см³ и 357±428 см³, при SUVmax ≥ 4,0 – 215±285 см³ и 209±266 см³; для TLG при SUVmax ≥ 2,5 – 1870±2168 см³ и 1849±2080 см³, при SUVmax ≥ 4,0 – 1356±1628 см³ и 1352±1621 см³ соответственно.

Так же, отдельно были проанализированы подгруппы с различными стадиями заболевания. Средние значения и стандартные отклонения объемных ПЭТ-биомаркеров, полученные при автоматическом и ручном методах выделения патологических очагов в подгруппе больных с ранними стадиями (n=14), составили: для MTV при пороговом значении SUVmax ≥ 2,5 – 148±118см³ и 149±119 см³, при SUVmax ≥ 4,0 – 73±57 см³ и 74±58 см³; для TLG при SUVmax ≥ 2,5 – 735±566 см³ и 736±567 см³, при SUVmax ≥ 4,0 – 474±444 см³ и 476±444 см³ соответственно. В подгруппе больных с распространенными стадиями (n=10): для MTV при пороговом значении SUVmax ≥ 2,5 – 668±605см³ и 648±535 см³, при SUVmax ≥ 4,0 – 414±358 см³ и 398±329 см³; для TLG при SUVmax ≥ 2,5 – 3461±2596см³ и 3406±2444 см³, при SUVmax ≥ 4,0 – 2591±1894 см³ и 2577±1890 см³ соответственно. Таким образом, более выраженные различия между показателями, полученными двумя методами обработки, определялись у пациентов с распространенным процессом. Однако статистически значимых различий между показателями двух методов в подгруппах так же получено не было ($p > 0,05$).

Применение ручного метода вычисления объемных ПЭТ-биомаркеров на анализируемой группе больных занимало от 15 до 45 минут, в зависимости от количества и расположения патологических очагов. При использовании автоматического метода процесс подсчета указанных показателей занимал от 5 до 30 минут.

Обсуждение.

Имеющиеся в настоящее время данные предполагают, что объемные ПЭТ-биомаркеры имеют важное прогностическое значение и могут использоваться для персонифицированного подхода к лечению при различных онкологических и гематологических заболеваниях [1 - 4, 7 - 9]. Это представляется особенно актуальным у больных ЛХ, у которых ПЭТ-адаптированная стратегия лечения вошла в широкую клиническую практику [9]. Несмотря на достаточно большое количество научных публикаций о прогностическом значении объемных ПЭТ-биомаркеров методики их расчета остаются не стандартизированными [5, 6, 10].

Используемые методики определения MTV и TLG подразделяются на 2 группы: на основе пороговых значений и на основе алгоритмов [5]. Применение методов, основанных на алгоритмах, является трудоемким и использовано в единичных исследованиях, тогда как, методы, основанные на пороговых значениях, менее трудоемки и применяются значительно чаще.

Использованное в данном исследовании коммерческое программное обеспечение syngo.via дает возможность применять для расчета MTV и TLG различные пороговые значения: фиксированные абсолютные (например, SUVmax ≥ 2,5), фиксированные относительные (например, 40% от SUVmax в патологическом очаге), фоновые (например, SUVmean (средний стандартизованный уровень накопления РФП) в печени + 2 стандартных отклонения) и адаптивные, при которых используется соотношение патологический очаг/фон (например, 0,15 × SUVmean опухоли + SUVmean в прилежащих тканях) [5, 14].

Метод расчета MTV и TLG, примененный в данном исследовании, с использованием для всех патологических очагов одного фиксированного абсолютного порогового значения отсечки фона, является одним из наиболее часто описываемых в литературе и демонстрирует высокую информативность при объемных образованиях с гомогенным накоплением 18F-ФДГ [5].

При лимфоме Ходжкина, также как и при некоторых других онкологических заболеваниях, ряд авторов показал, что для наиболее точного определения границ патологических очагов из абсолютных фиксированных пороговых значений целесообразно использовать значения SUVmax ≥ 2,5 и SUVmax ≥ 4,0 [12, 13]. Поэтому, для сопоставления ручного и автоматического методов выделения очагов, в настоящем исследовании так же использовались указанные пороговые значения.

Для отработки методики оконтуривания патологических очагов в данное исследование были отобраны пациенты с различной распространенностью процесса, но сравнительно простые. Поэтому время для расчета анализируемых показателей в ручном режиме занимало до 45 минут. По данным других авторов, при использовании ручного метода оконтуривания у больных с диссеминированным процессом длительность обработки достигала до 240 минут [15]. Ис-

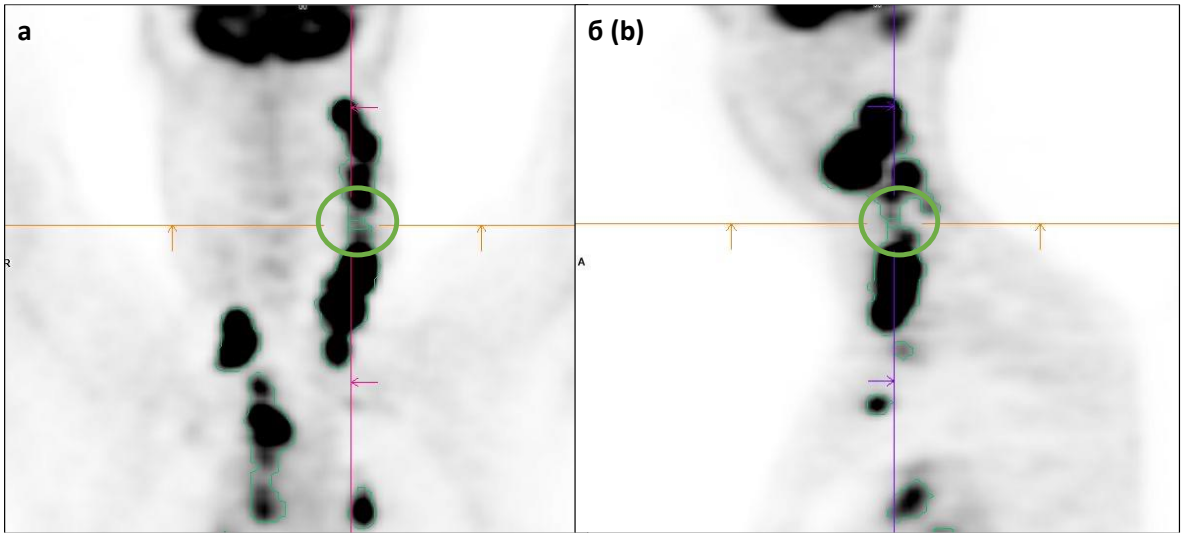

Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. ПЭТ-изображения, а – коронарная плоскость, б – сагиттальная плоскость.

Пример наложения сферических зон интереса при ручном методе расчета MTV и TLG у пациента с лимфомой Ходжкина III В ст., с поражением шейных, надключичных, медиастинальных, внутрибрюшинных, забрюшинных лимфоузлов, селезенки. Область наложения указана зеленым кругом.

Fig. 4. PET images coronal (a) and sagittal (b) reconstractions.

An example of overlays of spherical areas in the manual method of calculating MTV and TLG in a patient with IIIB stage Hodgkin's lymphoma, with lesions of the cervical, supraclavicular, mediastinal, intraperitoneal, retroperitoneal lymph nodes, spleen. The overlay area is indicated by the green circle.

пользование автоматического режима оконтуривания очагов сокращало затраченное время на 5-15 минут, что является несомненным преимуществом автоматического метода.

Однако, ряд авторов отмечает, что у отдельных больных использование автоматического метода делает невозможным отделение части очагов, в том числе массивных, от зон с физиологическим накоплением препарата, что существенно искажает показатели MTV и TLG. Поэтому у таких пациентов возможно использование только ручного метода выделения патологических очагов [15]. В настоящем исследовании мы не столкнулись с подобной проблемой, однако предполагаем, что она может возникнуть при локализации патологического процесса в средостении или в забрюшинном пространстве, а также при реактивных изменениях в костном мозге.

Также следует заметить, что часть патологических очагов небольших размеров и с интенсивностью накопления препарата ниже пороговых значений, оставались не включенными в подсчет. В настоящем исследовании это определялось у 6 из 24 больных (25%). Другие авторы так же указывают на аналогичную проблему. Однако так как это наблюдалось при использовании обоих методов оконтуривания, указанный фактор не вносил различий в показатели объемных ПЭТ-биомаркеров, рассчитанных разными методами.

Полученные нами значения MTV и TLG при использовании двух методов обработки, значимо не различались. Однако у отдельных больных при использовании ручного метода вычисления мы столкнулись с наложением друг на друга сферических зон интереса, и в этом случае пересеченные области включались в расчет дважды (рис. 4). И наоборот, когда оператор старался избежать их пересечения, отдельные части патологических очагов не были включены в расчет. Вероятно, в этом причина того, что в некоторых случаях полученные значения MTV и TLG при автоматическом и ручном методах вычисления различались в большую или меньшую сторону соответственно.

Заключение.

Показатели объемных ПЭТ-биомаркеров – MTV и TLG, рассчитанные автоматическим и ручным методом, при использовании одинаковых пороговых значений отсечки фона не имеют статистически значимых различий. Первоначальный опыт

показал, что каждый из методов имеет определенные преимущества и недостатки. Оба метода могут использоваться при лимфоме Ходжкина, при этом автоматический метод подсчета является существенно менее трудоемким.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Автор данной статьи подтвердил отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

References:

1. Salavati A, Duan F, Snyder BS, Wei B, Houshmand S, Khiewvan B, et al. Optimal FDG PET/CT volumetric parameters for risk stratification in patients with locally advanced non-small cell lung cancer: results from the ACRIN 6668/RTOG 0235 trial. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2017; 44: 1969-1983. DOI: 10.1007/s00259-017-3753-x

2. Wang X, Zhao Y, Liu Y, Yang Y, Wu N. Prognostic value of metabolic variables of [18F] FDG PET/CT in surgically resected stage I lung adenocarcinoma. Medicine (Baltimore). 2017; 96 (35): e7941. DOI: 10.1097/md.0000000000007941

3. Tamandl D, Fueger B, Haug A, Schmid R, Stift J, Schoppmann S. A, et al. Diagnostic Algorithm That Combines Quantitative 18F-FDG PET Parameters and Contrast-Enhanced CT Improves Posttherapeutic Locoregional Restaging and Prognostication of Survival in Patients With Esophageal Cancer. Clin Nucl Med. 2019; 44 (1): e13-e21. DOI: 10.1097/rlu.0000000000002366

4. Choi W, Oh J, Roh J, Kim J, Oh I, Choi S, et al. Metabolic tumor volume and total lesion glycolysis predict tumor progression and survival after salvage surgery for recurrent oral cavity squamous cell carcinoma. Head Neck. 2019; 41 (6): 1846-1853. DOI: 10.1002/hed.25622

5. Im H, Bradshaw T, Solaiyappan M, Cho S. Current Methods to Define Metabolic Tumor Volume in Positron Emission Tomography: Which One is Better? Nucl Med Mol Imaging. 2017; 52 (1): 5-15. DOI: 10.1007/s13139-017-0493-6

6. Im HJ, Solaiyappan M, Lee I, Bradshaw T, Daw NC, Navid F, et al. Multi-level Otsu method to define metabolic tumor volume in positron emission tomography. Am J Nucl Med Mol Imaging. 2018; 8: 373-386.

7. Moskowitz A, Schöder H, Gavane S, Thoren K, Fleisher M, Yahalom J., et al. Prognostic significance of baseline metabolic tumor volume in relapsed and refractory Hodgkin lymphoma. Blood. 2017; 130 (20): 2196-2203. DOI: 10.1182/blood-2017-06-788877

8. Akhtari M, Milgrom S, Pinnix C, Reddy J, Dong W, Smith G., et al. Reclassifying patients with early-stage Hodgkin lymphoma based on functional radiographic markers at presentation. Blood. 2018; 131 (1): 84-94. DOI: 10.1182/blood-2017-04-773838

9. Xie M, Zhai W, Cheng S, Zhang H, Xie Y, He W. Predictive value of F-18 FDG PET/CT quantization parameters for progression-free survival in patients with diffuse large B-cell lymphoma. Hematology. 2015; 21 (2): 99-105. DOI: 10.1179/1607845415y.0000000033

10. Mhlanga J, Chirindel A, Lodge M, Wahl R, Subramaniam R. Quantitative PET/CT in clinical practice. Nucl Med Commun. 2018; 39 (2): 154-160. DOI: 10.1097/mnm.0000000000000786

11. Brito A, Mourato F, Santos A, Mosci C, Ramos C, Etchebehere E. Validation of the Semiautomatic Quantification of 18F-Fluoride PET/CT Whole-Body Skeletal Tumor Burden. J Nucl Med Technol. 2018; 46 (4): 378-383. DOI: 10.2967/jnmt.118.211474

12. Martín-Saladich Q, Reynés-Llompart G, Sabaté-Llobera A, Palomar-Muñoz A, Domingo-Domènech E, Cortés-Romera M. Comparison of different automatic methods for the delineation of the total metabolic tumor volume in I–II stage Hodgkin Lymphoma. Sci Rep. 2020; 10 (1). DOI: 10.1038/s41598-020-69577-9

13. Barrington, SF, Meignan, MA. Time to prepare for risk adaptation in lymphoma by standardising measurement of metabolic tumour burden. Journal of Nuclear Medicine, 2019; 60 (8): 1096-1102. DOI: 10.2967/jnumed.119.227249

14. Kostakoglu L, Chauvie S. Metabolic Tumor Volume Metrics in Lymphoma. Semin Nucl Med. 2018; 48 (1): 50-66. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2017.09.005.

15. Camacho MR, Etchebehere E, Tardelli N, Delamain MT, Vercosa AFA, Takahashi MES, et al. Validation of a Multi-Foci Segmentation Method for Measuring Metabolic Tumor Volume in Hodgkin's Lymphoma. Journal of Nuclear Medicine Technology, J Nucl Med Technol. 2020; 48 (1): 30-35. DOI: 10.2967/jnmt.119.231118.