

## ОСОБЕННОСТИ ВИЗУАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЭТ/КТ С 18F-ФТОРДЕЗОКСИГЛЮКОЗОЙ ПРИ ПОДОЗРЕНИИ НА ИНФЕКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СЕРДЦЕ И СОСУДАХ

Асланиди И.П., Пурсанова Д.М., Мухортова О.В., Шурупова И.В.,  
Екаева И.В., Катунина Т.А., Трифонова Т.А

**Цель исследования.** Изучить особенности визуальной оценки результатов ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ при подозрении на инфекционный процесс в сердце и сосудах (ИПСС) после кардиохирургических вмешательств.

**Материалы и методы.** В анализ включены результаты ПЭТ/КТ, выполненной 190 пациентам – после имплантации ЭКС, протезирования клапанов сердца и сосудов – по поводу подозрения на ИПСС (n=90) и без него (n=100). Проанализированы 241 зона интереса с наличием высокоплотностных материалов на двух типах изображений – с коррекцией аттенуации (КА) и без КА. Окончательный диагноз поставлен на основании клинических (в том числе наблюдения в течение 6+3 месяцев), лабораторно-инструментальных, а также интраоперационных (n=64) данных: подтвержден в 87 и исключен в 154 зонах интереса.

**Результаты.** Анализ двух типов изображений (с КА и без КА), по сравнению с одним типом (только с КА), позволил повысить показатели специфичности ПЭТ/КТ в диагностике ИПСС с 47% до 78%, точности – с 65% до 84%. Ложное патологическое накопление 18F-ФДГ за счет аттенуационных артефактов выявлено в 47/241 (20%) зонах интереса. Из них в 37/47 (79%) артефакты определялись в области ЭКС, причем преимущественно в ложе устройства (34/37).

Выявлено, что в зонах интереса с истинным патологическим накоплением 18F-ФДГ (n=83) преобладал фрагментарный характер распределения радиофармпрепарата – в 75/83 (90%), а также его высокая интенсивность – в 71/83 (86%).

**Заключение.** Анализ показал, что для повышения точности результатов ПЭТ/КТ в диагностике инфекционных процессов после кардиохирургических вмешательств патологическое накопление 18F-ФДГ необходимо оценивать на двух типах изображений – с коррекцией аттенуации и без коррекции аттенуации. Также доказано, что для инфекционного процесса в сердце и сосудах характерно неравномерное патологическое накопление 18F-ФДГ высокой интенсивности.

**Ключевые слова:** ПЭТ/КТ, 18F-ФДГ, 18F-фтордезоксиглюкоза, протезированный клапан, ЭКС, сосудистый протез, инфекция, инфекционный процесс, инфекционный эндокардит.

Контактный автор: Пурсанова Д.М., e-mail: [dmpursanova@bakulev.ru](mailto:dmpursanova@bakulev.ru)

*Для цитирования:* Асланиди И.П., Пурсанова Д.М., Мухортова О.В., Шурупова И.В., Екаева И.В., Катунина Т.А., Трифонова Т.А. Особенности визуальной оценки результатов ПЭТ/КТ с 18F-фтордезоксиглюкозой при подозрении на инфекционные процессы в сердце и сосудах. REJR 2020; 10(4):120-130. DOI:10.21569/2222-7415-2020-10-4-120-130.

Статья получена: 01.09.20

Статья принята: 22.09.20

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

## VISUAL ASSESSMENT OF 18F-FLUORODEOXYGLUCOSE PET/CT RESULTS IN THE DIAGNOSIS OF INFECTIOUS PROCESS IN HEART AND VESSELS AFTER CARDIOVASCULAR INTERVENTIONS

Aslanidis I.P., Pursanova D.M., Mukhortova O.V., Shurupova I.V., Ekaeva I.V.,  
Katunina T.A., Trifonova T.A.

**Purpose.** To study the features of the visual assessment of 18F-fluorodeoxyglucose (18F-FDG) PET/CT results for the diagnosis of infectious process in heart and blood vessels after cardiovascular interventions.

**Material and methods.** The analysis included PET/CT results in 190 patients – after pacemaker implantation, valve and vessel replacement – for suspected infectious process (n=90) and oncologic patients without it (n=100). A total of 241 areas of interest with the high-density materials were analyzed using two types of images - with attenuation correction (AC) and without AC. All PET/CT results were verified according to clinical, laboratory and intraoperative (n = 64) data: the diagnosis was confirmed in 87 and excluded in 154 areas of interest.

**Results.** The analysis of two types of images (with and without AC), compared to one type (AC), allowed to increase the specificity – from 47% to 78%, the accuracy – from 65% to 84%. False abnormal 18F-FDG uptake due to attenuation artifact was detected in 47/241 (20%) analyzed areas of interest. Of them in 37/47 (79%), the artifacts were detected in the area of pacemaker, mainly in the device pocket (34/37).

The analysis showed that in areas with true positive results (n=83) the abnormal uptake was mainly focal – in 75/83 (90%) and of high intensity – in 71/83 (86%).

**Conclusion.** The analysis showed that visual assessment of both types of images – with CA and without CA – allowed to improve the accuracy of PET/CT results in the diagnostics of infectious processes after cardiovascular interventions. It has also been proven that in infectious processes in heart and vessels the abnormal 18F-FDG uptake is focal of high intensity.

Keywords: PET/CT, 18F-FDG, 18F-fluorodeoxyglucose, prosthetic valve, pacemaker, vascular graft, infection, infectious process, infectious endocarditis.

Corresponding author: Pursanova D.M., e-mail: dmpursanova@bakulev.ru

*For citation: Aslanidis I.P., Pursanova D.M., Mukhortova O.V., Shurupova I.V., Ekaeva I.V., Katunina T.A., Trifonova T.A. Visual assessment of 18f-fluorodeoxyglucose PET/CT results in the diagnosis of infectious process in heart and vessels after cardiovascular interventions. REJR 2020; 10(4):120-130. DOI:10.21569/2222-7415-2020-10-4-120-130.*

Received: 01.09.20

Accepted: 22.09.20

**И**нфекционные процессы в сердце и сосудах (ИПСС) у пациентов после кардиохирургических вмешательств встречаются нечасто – в 1–6% случаев. Однако показатели смертности при данном осложнении высоки – в зависимости от клинической ситуации и выбора лечения достигают 16–80% [1–4].

Диагностика ИПСС является актуальной и сложной проблемой современной кардиологии, кардиохирургии и лучевой диагностики и требует мультидисциплинарного подхода [2, 5]. Подтвержденный диагноз в большинстве случаев является абсолютным показанием к хирургическому лечению по жизненным показаниям

[1–3]. Сложность выявления ИПСС связана с полиморфной клинической картиной, а также с отсутствием «золотого стандарта» для постановки диагноза. Диагностика ИПСС основывается на сочетании «больших» и «малых» критериев, основными из которых являются повышение температуры тела более 38°C без установленных альтернативных причин, положительные посевы крови, а также результаты рутинно используемых трансторакальной и чреспищеводной эхокардиографии (ЭхоКГ), компьютерной томографии с внутривенным контрастированием и магнитно-резонансной томографии [3, 4]. Тем не менее, отрицательные результаты лабораторно-инструментальных данных не исклю-

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

чают наличия ИПСС, что приводит к необходимости поиска новых методов диагностики [3].

В последние годы в зарубежной литературе появились данные о многообещающих результатах позитронно-эмиссионной томографии с 18F-фтордезоксиглюкозой, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ) в выявлении ИПСС у больных после кардиохирургических вмешательств [6-8]. На основании этого группа экспертов Европейского общества кардиологов включила методику в диагностический алгоритм обследования указанной категории пациентов – патологическое накопление 18F-ФДГ в зоне интереса рекомендовано учитывать при постановке диагноза в качестве «большого» диагностического критерия [2]. Тем не менее, в опубликованных зарубежных исследованиях нет единых стандартизированных критериев интерпретации результатов ПЭТ/КТ. В нашей стране исследования по изучению возможностей ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ в диагностике ИПСС в сердце и сосудах проводятся с 2017 г. только в ПЭТ-центре ФГБУ НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева МЗ РФ. В опубликованных нашей группой авторов статьях представлены результаты полуколичественной оценки ПЭТ/КТ данных при подозрении на ИПСС [9].

#### **Целью исследования.**

Изучить особенности визуальной оценки при интерпретации результатов ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ при подозрении на ИПСС.

#### **Материалы и методы.**

В анализ включены результаты обследования 190 больных с наличием в анамнезе кардиохирургических вмешательств, которым выполнена ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ в ПЭТ-центре отдела ядерной диагностики НЦССХ им. А.Н. Бакулева: 90 (47%) пациентов обследованы по поводу подозрения на ИПСС, остальные 100 (53%) больных – по поводу онкологических заболеваний и включены в контрольную группу без наличия ИПСС.

Пациенты с подозрением на ИПСС (n = 90) обследовались проспективно в различные сроки после кардиохирургических вмешательств: протезирования клапанов (ПК) сердца – 28 (31%), имплантации электронных внутрисердечных устройств (ИЭВСУ) – 22 (24%), имплантации сосудистых протезов (СП) – 13 (14%), ПК и СП – 13 (14%), ПК и ИЭВСУ – 10 (11%), ИЭВСУ и СП – 3 (4%), а также ПК, ИЭВСУ и СП – 1 (2%). У пациентов с несколькими зонами интереса каждая из зон оценивалась отдельно. В анализируемую группу вошли 54 мужчины и 36 женщин; средний возраст составил 53±17 (14–87) года. Интервал между предшествующим хирургическим лечением и проведением ПЭТ/КТ составил от 1 до 404 месяцев, медиана – 33 [10; 61] месяца. Общая характеристика пациентов представлена на рисунке 1.

Большинству пациентов – 71% (64/90) – в связи с высокой вероятностью инфекционного процесса по данным полного клинико-лабораторно-инструментального обследования, в том числе с учетом результатов ПЭТ/КТ, проведено хирургическое лечение. Временной интервал между выполнением ПЭТ/КТ и операцией составил от 1 до 28 дней, медиана – 10 [3; 19] дней. Согласно интраоперационным данным (визуальная оценка и/или результат посева интраоперационного материала) у 62 из 64 (96%) прооперированных больных подтвержден диагноз ИПСС. У 2 из 64 прооперированных пациентов диагноз ИПСС исключен. У остальных 26 из 90 (29%) больных анализируемой группы с подозрением на ИПСС по результатам комплексного клинико-лабораторного и инструментального обследований инфекционный процесс был исключен. Пациенты выписаны без операции, дальнейшее наблюдение в течение 6±3 месяцев подтвердило отсутствие ИПСС.

Таким образом, в анализируемой группе с подозрением на ИПСС (n = 90) диагноз был подтвержден в 69% (62/90) и исключен в 31% (28/90) случаев – в 87 и 54 зонах интереса, соответственно.

Контрольная группа без ИПСС (n = 100): в базе данных ПЭТ-центра за период с января 2014 г. по декабрь 2017 г. проведен поиск пациентов с наличием в анамнезе имплантации ПК, ИЭВСУ и/или СП и с отсутствием лихорадки на момент проведения ПЭТ/КТ. Были выявлены 68 пациентов, которым ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ выполнялась по поводу онкологических заболеваний. При этом у 17 из 68 (25%) отмечалось интенсивное физиологическое накопление 18F-ФДГ в миокарде, что исключало возможность точной оценки ПК и интракардиальных отделов электродов ИЭВСУ. В результате было отобрано 51 из 68 (75%) пациентов для включения в контрольную группу без ИПСС: с ПК – 19, ИЭВСУ – 25, СП – 7.

Кроме того, в контрольную группу проспективно включено 49 аналогичных пациентов, обследованных в ПЭТ-центре с января 2018 г. по сентябрь 2020 г. по поводу онкологических заболеваний. Критериями включения являлось отсутствие лихорадки на момент проведения ПЭТ/КТ, а также отсутствие физиологического накопления 18F-ФДГ в миокарде.

Таким образом, всего в контрольную группу включено 100 пациентов с наличием в анамнезе различных кардиохирургических вмешательств: протезирования клапанов сердца – 30 (30%), имплантации ИЭВСУ – 50 (50%) и имплантации СП – 20 (20%). В анализируемую группу вошли 55 женщин и 45 мужчин; средний возраст составил 61±17 (27–85) год. Интервал между предшествующим хирургическим лечением и проведением ПЭТ/КТ у ретроспек-

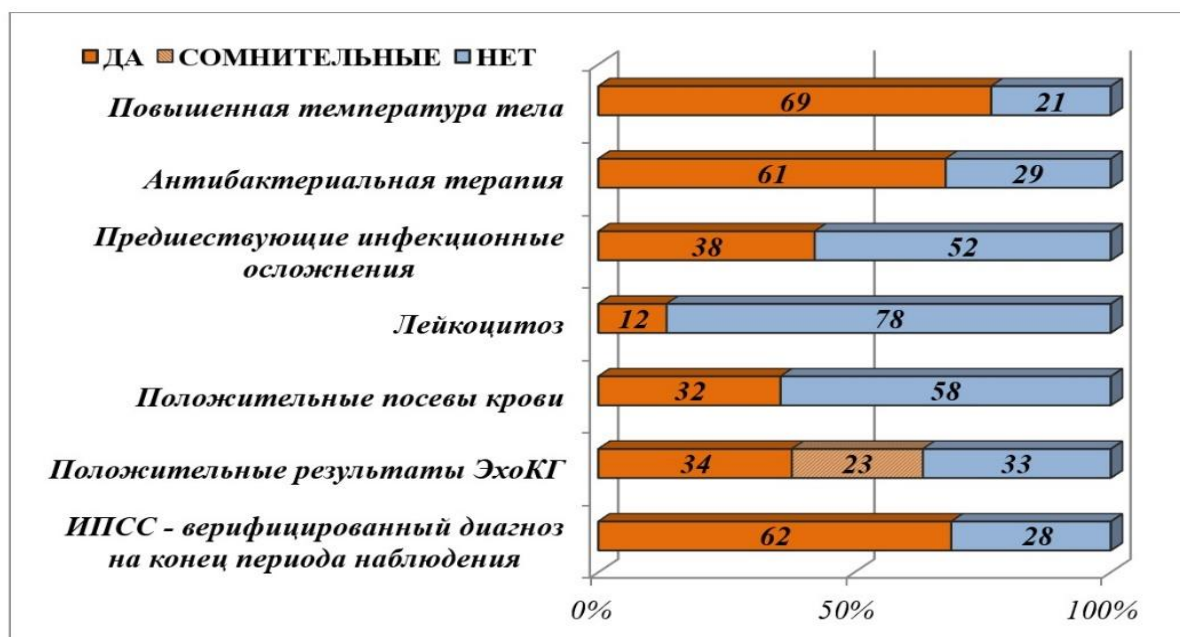


Рис. 1 (Fig. 1)

**Рис. 1. Диаграмма.**

Распределение пациентов с подозрением на ИПСС (n = 90) в зависимости от результатов клинико-лабораторно-инструментального обследования на момент выполнения ПЭТ/КТ.

**Fig. 1. Diagram.**

Distribution of patients with suspected infectious process (n = 90) according to clinical, laboratory and instrumental data at PET/CT.

тивно выбранных больных составил не менее 3 месяцев, медиана времени у проспективно набранных пациентов – 63 [41; 75].

Всего в анализируемой группе в целом – у пациентов с подозрением на ИПСС и контрольной группы – проанализирована 241 зона интереса: ПК (n = 93), ИЭВСУ (n = 85) и СП (n = 63).

Исследования выполнялись на гибридной системе ПЭТ/КТ «Biograph – 64» True Point фирмы Siemens, сочетающей в себе высокоскоростной позитронно-эмиссионный томограф с трансаксиальным разрешением 4,2 мм и 64-срезовый спиральный рентгеновский компьютерный томограф. С целью уменьшения физиологического накопления <sup>18</sup>F-ФДГ в миокарде левого желудочка все больные с подозрением на ИПСС проходили специальную подготовку, которая включала строгую безуглеводную диету в течение 48 часов с периодом голодания 15 часов и более.

Сканирование выполнялось через 90 минут после внутривенного введения <sup>18</sup>F-ФДГ (175-200 МБк) по стандартному протоколу в режиме обследования «всего тела» – от уровня глазниц до верхней трети бедра; с последовательным выполнением КТ- и ПЭТ-сканирований. Более подробно методика выполнения ПЭТ/КТ изложена в опубликованной

нами ранее статье [9]. Для коррекции искажения эмиссионных данных за счет рассеивания и поглощения излучения окружающими тканями (аттенуации) ПЭТ-данные реконструировались по КТ сканам.

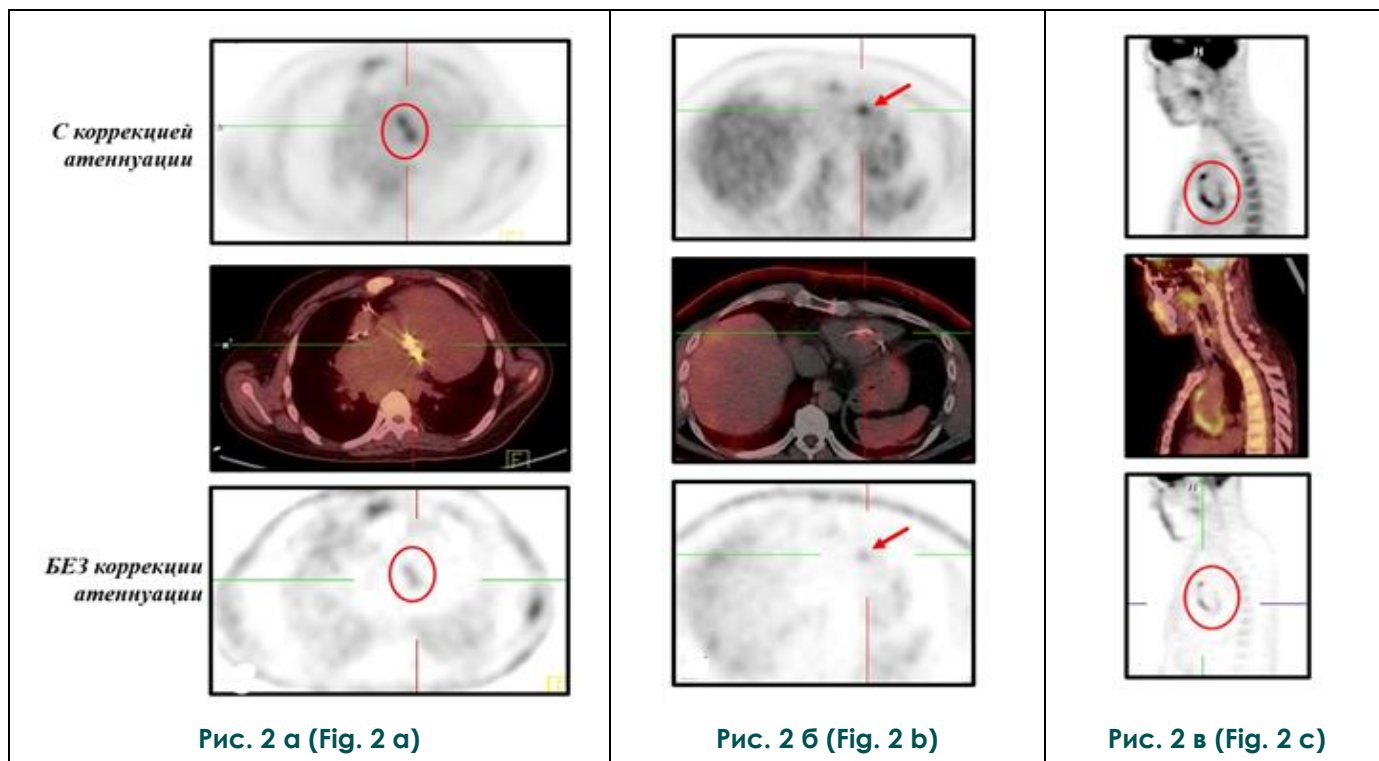
Интерпретация изображений осуществлялась визуально по виртуальному трехмерному ПЭТ-изображению, а также по всем трем типам изображений (КТ, ПЭТ и фузионированному) в трех проекциях. Визуальная оценка проводилась в три этапа:

1) анализ изображений только с коррекцией аттенуации (КА) данных: патологическое накопление <sup>18</sup>F-ФДГ в зоне интереса, независимо от интенсивности, характера и протяженности накопления, принималось за положительный результат ПЭТ/КТ;

2) анализ двух типов изображений – с КА и без КА: за положительный результат ПЭТ/КТ принималось патологическое накопление <sup>18</sup>F-ФДГ в зоне интереса, сохраняющееся на двух типах изображений (рис. 2); патологическое накопление <sup>18</sup>F-ФДГ, определяющееся только на изображениях с КА, расценивалось как аттенуационный артефакт;

3) качественный анализ изображений, включавший оценку характера накопления <sup>18</sup>F-ФДГ на изображениях с КА – фрагментар-





**Рис. 2.** ПЭТ с коррекцией аттенуации, фузионированного ПЭТ/КТ и ПЭТ без коррекции аттенуации, аксиальные (а, б) и сагиттальные (в) реконструкции.

Примеры накопления 18F-ФДГ в зонах интереса: (а,б,в) патологические очаги гиперметаболической активности (красные круги и стрелки) определяются на двух типах изображений – как с коррекцией аттенуации, так и без коррекции аттенуации – в зоне протеза клапана (а), по ходу электрода в полости правого желудочка (б), по ходу сосудистого протеза восходящей аорты (в).

**Fig. 2.** PET with attenuation correction, fused PET/CT, non-attenuation correction images. Axial (a, b) and sagittal (c) projections of images.

Examples of 18F-FDG uptake in the regions of interest: (a,b,c) abnormal 18F-FDG uptake (red circles and arrows) detected on both types of images – attenuation corrected and non-attenuation corrected –in the prosthetic valve area (a), along the intracardiac portion of lead (b), along the ascending aortic graft (c).

ный или диффузный, – а также его интенсивность по трехбалльной шкале на изображениях без КА: зона интереса сравнивалась с прилежащими структурами, где 1 балл – отсутствие различий, 2 балла – патологическое накопление 18F-ФДГ в зоне интереса незначительно выше фонового, 3 балла – патологическое накопление 18F-ФДГ в зоне интереса значительно выше фонового (рис. 3).

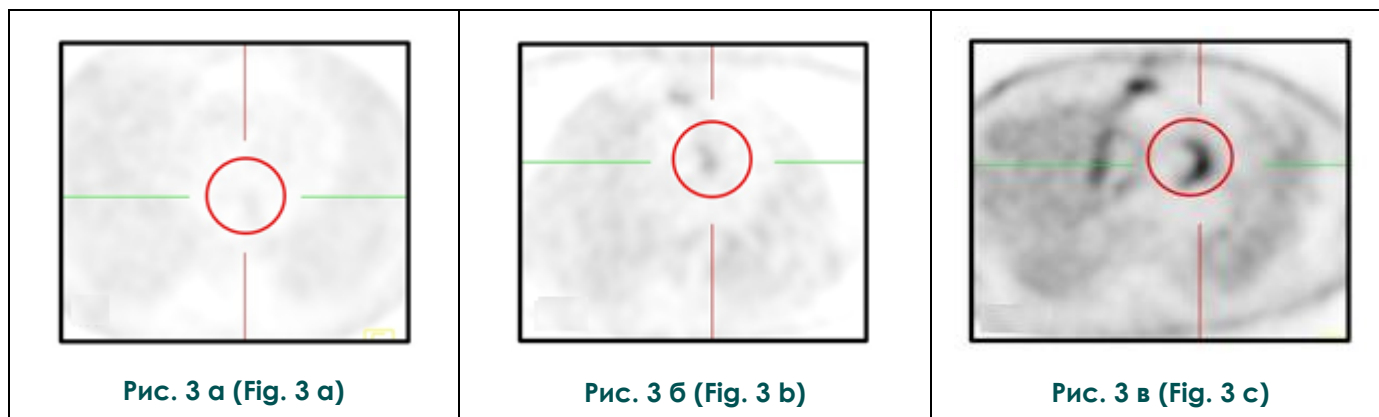
Для выполнения статистических расчетов использовали программу SPSS Statistics. Значения средних по группам представлены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение, 95% доверительный интервал, который учитывает объем малой выборки. Расчет диагностических показателей метода – чувствительности, специфичности, точности, положительной и отрицательной прогностической ценности метода проводили по общепринятым формулам.

**Результаты.**

Первым этапом проведена визуальная

оценка изображений только с КА: истинные результаты ПЭТ/КТ получены в 156 из 241 (65%) зон интереса, тогда как ложные – в 85/241 (35%). Распределение результатов ПЭТ/КТ в зависимости от наличия или отсутствия накопления 18F-ФДГ в зоне интереса на изображениях только с КА в группах с подозрением на ИПСС (n = 141), контрольной (n = 100) и анализируемой в целом (n = 241) представлено в таблице 1. Проведен анализ диагностических показателей ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ с использованием визуальной оценки изображений только с КА во всей группе в целом (n = 241): чувствительность, специфичность и точность метода в диагностике ИПСС составили 95%, 47% и 65%, соответственно; положительная и отрицательная прогностическая ценность – 51% и 95% (табл. 1).

Вторым этапом проведена визуальная оценка двух типов изображений – с КА и без КА: истинные результаты ПЭТ/КТ получены в 203 из 241 (84%) зон интереса, тогда как ложные – в 38/241 (16%). Распределение результа-



**Рис. 3. ПЭТ изображения без коррекции аттенуации (а-в), аксиальные реконструкции.**

Примеры накопления 18F-ФДГ различной интенсивности в зонах интереса по 3-балльной шкале: (а) 1 балл – накопление 18F-ФДГ в зоне протеза клапана не отличимо от фонового в средостении, (б) 2 балла – патологическое накопление 18F-ФДГ в зоне протеза клапана незначительно выше фонового, (в) патологическое накопление 18F-ФДГ в зоне протеза клапана значительно выше фонового.

**Fig. 3. PET images of non-attenuation correction (a-c), axial projections.**

Examples of 18F-FDG uptake various intensity in the prosthetic valve area using a 3-point grey scale: (a) grade 1 – the intensity of 18F-FDG uptake in the region of interest is indistinguishable from the background in the mediastinum, (b) grade 2 – abnormal 18F-FDG uptake in the region of interest is slightly higher than the background, (c) – abnormal 18F-FDG uptake in the region of interest is significantly higher than the background.

**Таблица №1. Распределение результатов ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ при оценке зон интереса по одному типу изображений – с коррекцией аттенуации (n = 241).**

Зоны интереса	ИПСС подтвержден (n = 87)		ИПСС исключен (n = 154)	
	ИП	ЛО	ИО	ЛП
При подозрении на ИПСС (n= 141):	83	4	23	31
ПК, n	39	3	8	13
ИЭВСУ, n	20	1	2	12
СП, n	24	0	13	6
Контрольная группа (n = 100)	0	0	50	50
ПК, n			24	6
ИЭВСУ, n			19	31
СП, n			7	13
<b>Группа в целом (n = 241)</b>	<b>83</b>	<b>4</b>	<b>73</b>	<b>81</b>
ПК, n	39	3	32	19
ИЭВСУ, n	20	1	21	43
СП, n	24	0	20	19

тов ПЭТ/КТ в зависимости от накопления 18F-ФДГ в зоне интереса на двух типах изображений – с КА и без КА – в группах с подозрением на ИПСС (n = 141), контрольной (n = 100) и анализируемой в целом (n = 241) представлено в таблице 2. Проведен анализ диагностических показателей ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ с использованием визуальной оценки двух типов изображений (с КА и без КА) во всей группе в целом (n = 241): чувствительность, специфичность и точность метода в диагностике ИПСС составили 95%, 78% и 84%, соответственно; положитель-

ная и отрицательная прогностическая ценность – 71% и 97% (табл. 2).

Таким образом, при оценке зон интереса только на изображениях с КА, по сравнению с оценкой двух типов изображений (с КА и без КА), ложное патологическое накопление 18F-ФДГ определялось более чем в два раза чаще: в 81 случае против 34 (табл. 1, 2). Всего ложное патологическое накопление 18F-ФДГ за счет аттенуационного артефакта выявлено в 47 из 241 (20%) анализируемой зоны интереса – из них в 15 случаях при подозрении на ИПСС и в

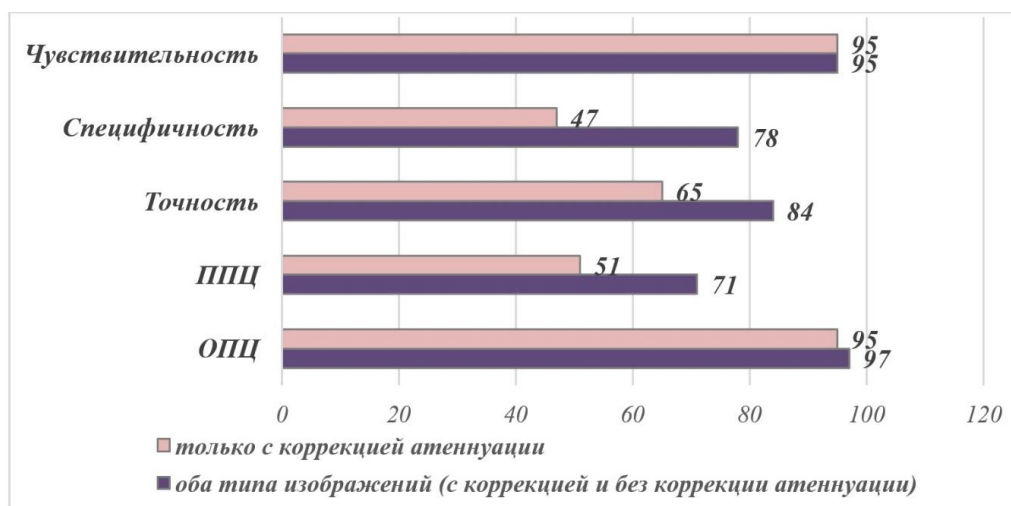
**Таблица №2. Распределение результатов ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ при оценке зон интереса на двух типах изображений – с коррекцией аттенуации и без коррекции аттенуации (n = 241).**

Зоны интереса	ИПСС подтвержден (n = 87)		ИПСС исключен (n = 154)	
	ИП	ЛО	ИО	ЛП
При подозрении на ИПСС (n = 141)	83	4	38	16
ПК, n	39	3	13	8
ИЭВСУ, n	20	1	11	3
СП, n	24	0	14	5
Контрольная группа (n = 100)	0	0	82	18
ПК, n			26	4
ИЭВСУ, n			47	3
СП, n			9	11
<b>Группа в целом (n = 241)</b>	<b>83</b>	<b>4</b>	<b>120</b>	<b>34</b>
ПК, n	39	3	39	12
ИЭВСУ, n	20	1	58	6
СП, n	24	0	23	16

32 у пациентов контрольной группы. В преобладающем числе случаев 37/47 (79%) указанные аттенуационные артефакты располагались по ходу различных отделов ИЭВСУ – в ложе устройства (34/37), по ходу экстракардиальных (n = 2) и интракардиальных (n = 1) отделов электродов. В остальных 10 из 47 (21%) случаев аттенуационные артефакты определялись в зоне ПК (n = 7) и в зоне СП (n = 3).

Анализ показал, что при использовании визуальной оценки двух типов изображений показатели ПЭТ/КТ в диагностике ИПСС возросли: специфичность с 47% до 78% и точность с 65% до 84% (рис. 4).

Третьим этапом проведен качественный анализ патологического накопления 18F-ФДГ – оценивался характер и интенсивность накопления 18F-ФДГ в зоне интереса. Характер накоп-



**Рис. 4 (Fig. 4)**

**Рис. 4. Диаграмма.**

Показатели ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ в диагностике ИПСС при визуальной оценке зон интереса (n = 241) на изображениях только с коррекцией аттенуации и на двух типах изображений (с коррекцией аттенуации и без коррекции аттенуации).

**Fig. 4. Diagram.**

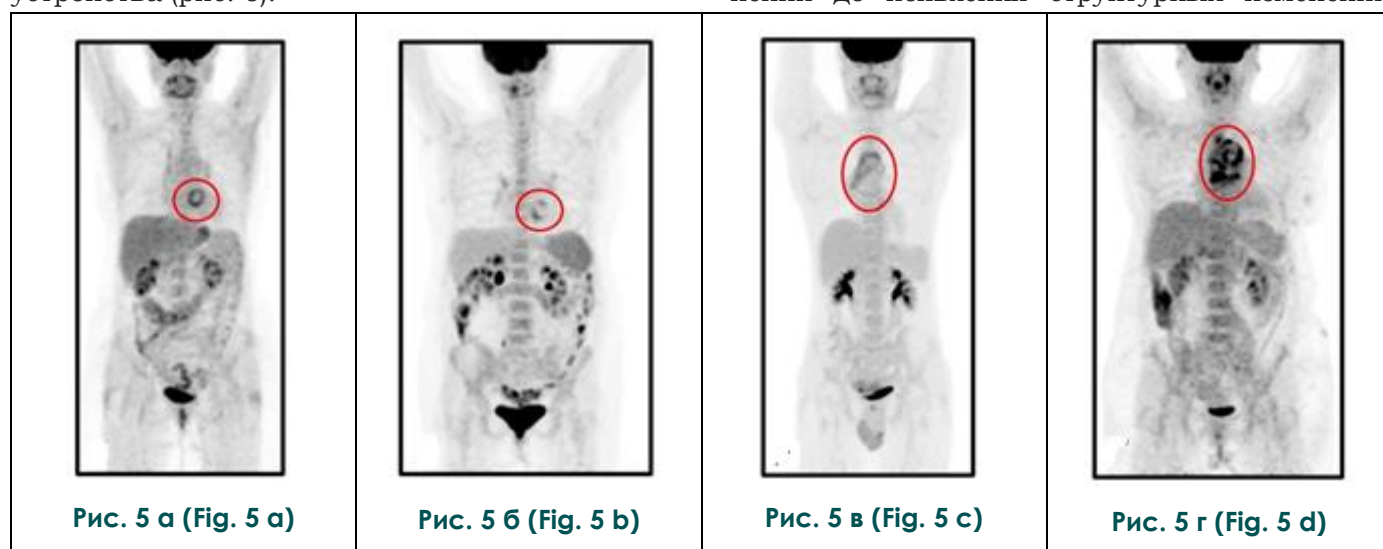
Diagnostic value of 18F-FDG PET/CT in the detection of infectious processes in heart and vessels in 241 areas of interest using visual assessment of only attenuation correction and both types (attenuation correction and non-attenuation correction) images.

ления радиофармпрепарата оценивался на изображениях с КА в зонах с патологическим накоплением 18F-ФДГ (n = 164) – истинным (n = 83) и ложным (n = 81). В 76 из 83 (92%) зон интереса с истинным патологическим накоплением 18F-ФДГ распределение РФП носило фрагментарный характер. Тогда как в 67 из 81 (83%) зоны с ложным патологическим накоплением 18F-ФДГ – диффузный гомогенный (рис. 5). Также важно, что при наличии аттенуационных артефактов в ложе ИЭВСУ (n = 34) патологическое накопление 18F-ФДГ в 32/34 случаях определялось непосредственно в проекции самого устройства, тогда как при наличии инфекционного процесса (n = 10) во всех 10 случаях истинное патологическое накопление 18F-ФДГ определялось по периферии от самого устройства (рис. 6).

мо оценивать характер и интенсивность накопления 18F-ФДГ: для инфекционного процесса характерно неравномерное патологическое накопление 18F-ФДГ высокой интенсивности, тогда как диффузно равномерный тип распределения 18F-ФДГ умеренной интенсивности свидетельствует о неинфекционном генезе выявленных изменений.

**Обсуждение.**

В последние десятилетия при подозрении на ИПСС у пациентов после кардиохирургических вмешательств стали применять радионуклидные методы исследования, одним из которых является ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ. Преимуществом данного неинвазивного метода гибридной молекулярной визуализации является возможность ранней оценки метаболических изменений до появления структурных изменений



**Рис. 5. Виртуальные трехмерные проекции ПЭТ-изображений (а-г).**

Примеры ложного (а, в) и истинного (б, г) патологического накопления 18F-ФДГ в зонах интереса: протезированного клапана (а, б) и сосудистого протеза восходящего отдела и дуги аорты (в, г).

**Fig. 5. Virtual 3D projections of PET images (a-d).**

Examples of false (a, c) and true (b, d) abnormal 18F-FDG uptake in the areas of interest: prosthetic valve (a, b) and vascular graft of the ascending aortic arch (c, d).

Интенсивность накопления 18F-ФДГ оценивалась по трехбалльной шкале на изображениях без КА в зонах с патологическим накоплением 18F-ФДГ (n = 117) – истинным (n = 83) и ложным (n = 34). Зоны интереса с истинным патологическим накоплением 18F-ФДГ (n = 83) распределены следующим образом: 3 балла – 71 (86%); 2 балла – 12 (14%). Зоны интереса с ложным патологическим накоплением 18F-ФДГ (n = 34): 3 балла – 6 (18%), 2 балла – 28 (82%).

Таким образом, проведенный анализ особенностей визуальной оценки данных ПЭТ/КТ показал, что для повышения точности результатов ПЭТ/КТ патологическое накопление 18F-ФДГ необходимо оценивать на двух типах изображений – с КА и без КА. Кроме того, необходи-

[10]. В основе использования ПЭТ/КТ в диагностике воспаления лежит интенсивное накопление 18F-ФДГ клетками воспаления с высоким уровнем гликолиза: полиморфноядерными лейкоцитами (активированными макрофагами и гранулоцитами) и лимфоцитами [10, 11].

По данным актуальных публикаций ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ обладает высокими диагностическими показателями в диагностике ИПСС [6-8]. Однако общепринятая методика проведения ПЭТ/КТ исследования у данного контингента пациентов, а также критерии интерпретации его результатов на сегодняшний день отсутствуют. Традиционно при анализе данных ПЭТ/КТ с 18-ФДГ в онкологии визуальная оценка осуществляется в основном по изобра-



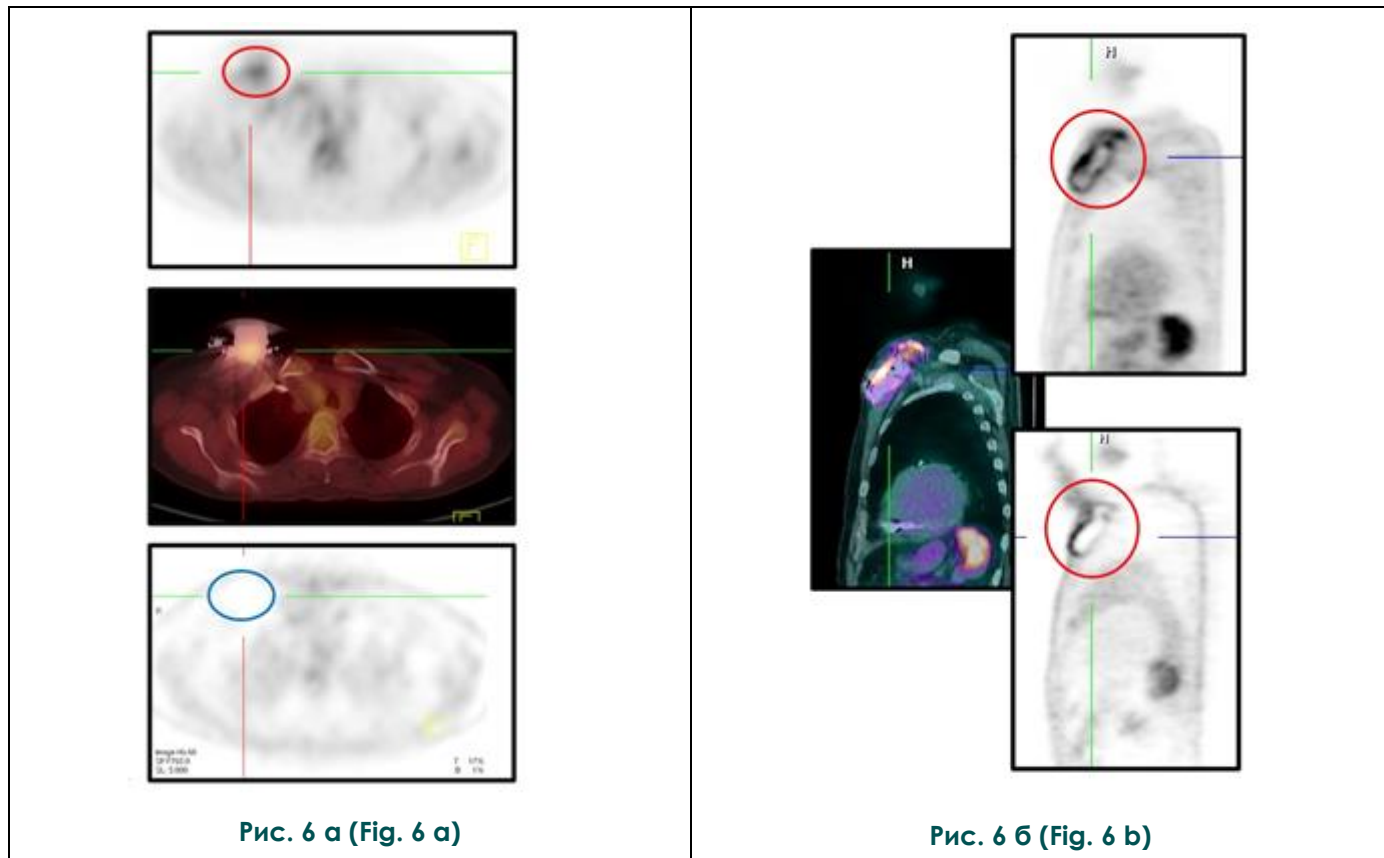


Рис. 6 а (Fig. 6 a)

Рис. 6 б (Fig. 6 b)

**Рис. 6. ПЭТ с коррекцией аттенуации, фузионированного ПЭТ/КТ и ПЭТ без коррекции аттенуации, аксиальные (а) и сагиттальные (б) реконструкции.**

Примеры ложного (а) и истинного (б) патологического накопления 18F-ФДГ в ложе электрокардиостимулятора: (а) патологическое накопление 18F-ФДГ соответствует самому устройству и не прослеживается на изображении без коррекции аттенуации (аттенуационный артефакт), (б) патологическое накопление 18F-ФДГ определяется по периферии от устройства и сохраняется на изображениях без коррекции аттенуации (свидетельствует об инфекционном процессе).

**Fig. 6. PET with attenuation correction, fused PET/CT and non-attenuation correction images, axial (a) and sagittal (b) reconstructions.**

Examples of false (a) and true (b) abnormal 18F-FDG uptake in the pacemaker pocket: (a) abnormal 18F-FDG uptake corresponds to the device itself and is not detected on non-attenuation correction image (attenuation artifact), (b) abnormal 18F-FDG uptake is detected in the surrounding tissues of the pocket and is preserved on non-attenuation correction images (revealing infectious process).

жениям с КА. Однако известно, что при оценке зон с наличием высокоплотных материалов необходимо исключать аттенуационные артефакты, возникающие при реконструкции изображения [12, 13]. В связи с этим оценка таких зон, как ПК, ИЭВСУ и СП, обязательно должна включать визуальный анализ изображений как с КА, так и без КА.

В настоящем исследовании проведена визуальная оценка результатов ПЭТ/КТ в 241 зоне интереса – ПК (n = 93), ИЭВСУ (n = 85) и СП (n = 63) – в двух группах с подозрением на ИПСС (n = 141) и в контрольной без наличия ИПСС (n = 100). При визуальной оценке изображений только с КА показатель специфичности ПЭТ/КТ составил 47%, тогда как при анализе двух типов изображений (с КА и без КА) – значение

указанного показателя возросло до 78%. В аналогичном исследовании Jimenez-Ballve и соавт. проанализировали 62 зоны интереса с ПК (n = 42) и ИЭВСУ (n = 20) – при анализе двух типов изображений показатели специфичности возросли с 57% до 73% [12].

Другими важными особенностями визуальной оценки ПЭТ/КТ изображений при подозрении на ИПСС является характер патологического накопления 18F-ФДГ в зоне интереса и его интенсивность. Результаты настоящего исследования показали, что для инфекционного процесса более характерно фрагментарное патологическое накопление 18F-ФДГ – выявлено в 92% (76/83) истинно положительных случаев. Диффузный гомогенный характер накопления 18F-ФДГ чаще встречается при процессах не-

инфекционного генеза – «стерильном» воспалении и/или местной реакции на синтетический материал. Другие исследователи также отмечают, что при наличии инфекционного процесса в зоне интереса определяется фрагментарный характер накопления 18F-ФДГ [12, 14, 15].

Анализ зон интереса у пациентов контрольной группы показал, что у 22% (18/82) больных получены ложноположительные результаты при отсутствии клинического подозрения на ИПСС. Это подтверждает необходимость интерпретации результатов ПЭТ/КТ в совокупности с клинической картиной. Mathieu и соавт. также проанализировали результаты ПЭТ/КТ, выполненной пациентам с ПК без наличия инфекции – с онкологическим анамнезом и системным васкулитом [13]. Авторы сообщают, что в зоне ПК определялось незначительно повышенное накопление 18F-ФДГ как на изображениях с КА (87%), так и без КА (56%), причем в 94% случаев авторы отмечают гомогенный тип распределения радиофармпрепарата. Полученные данные подтверждают важность оценки характера накопления 18F-ФДГ в зоне интереса. Другие исследователи также обращают внимание на низкую интенсивность накоп-

ления 18F-ФДГ в зоне интереса в случаях ложноположительных результатов [6, 16, 17].

#### **Заключение.**

Проведенный анализ подтверждает высокую информативность ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ в диагностике инфекционных процессов в сердце и сосудах у пациентов после кардиохирургических вмешательств.

У пациентов после кардиохирургических вмешательств выявлена высокая частота аттенуационных артефактов от высокоплотных структур, поэтому для повышения точности результатов ПЭТ/КТ при визуальной оценке необходим анализ двух типов изображения – с коррекцией аттенуации и без коррекции аттенуации. Показано, что для инфекционного процесса характерно фрагментарное накопление 18F-ФДГ высокой интенсивности.

#### **Источник финансирования и конфликт интересов.**

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

#### **Список Литературы:**

1. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. Инфекционный эндокардит. 2016. <https://racvs.ru/clinic/files/2016/infective-endocarditis.pdf>
2. Habib G., Lancellotti P., Antunes M.J., Bongioni M.G., Casalta J.P., Del Zotti F., et al. ESC Scientific Document Group. 2015. ESC Guidelines for the management of infective endocarditis: The Task Force for the Management of Infective Endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Heart J*. 2015; 36: 3075–128. DOI:10.1093/eurheartj/ehv319.
3. Муратов Р.М., Бабенко С.И. Рекомендации по профилактике и лечению инфекционного эндокардита. ННПССХ им. А.Н.Бакулева. Москва. 2018. 32 с.
4. Lyons O.T., Baguneid M., Barwick T.D., Bell R.E., Foster N., Homer-Vanniasinkam S. Diagnosis of Aortic Graft Infection: A Case Definition by the Management of Aortic Graft Infection Collaboration (MAGIC). *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2016 Dec;52(6):758-763. doi: 10.1016/j.ejvs.2016.09.007.
5. Gomes A, van Geel PP, Santing M, et al. Imaging infective endocarditis: adherence to a diagnostic flowchart and direct comparison of imaging techniques. *J Nucl Cardiol* 2018. [Epub ahead of print].
6. Mahmood M., Kendi A.T., Ajmal S., Saira F., O'Horo J.C., Chareonthaitaweet P., et al. Meta-analysis of 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of infective endocarditis. *J Nucl Cardiol* 2017;26(3):922–35. DOI: 10.1007/s12350-017-1092-8.
7. Juneau D., Golfam M., Hazra S., Zuckier L.S., Garas S., Redpath C. Positron Emission Tomography and Single-Photon Emission Computed Tomography Imaging in the Diagnosis of Cardiac Implantable Electronic Device Infection. A systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017; 10: e005772. DOI: 10.1161/circimaging.116.005772.
8. Kim S.J., Lee S.W., Jeong S.Y., Pak K., Kim K. A systematic review and meta-analysis of (18)F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography or positron emission tomography/computed tomography for detection of infected prosthetic vascular grafts. *J Vasc Surg* 2019;70:307-13. DOI: 10.1016/j.jvs.2019.01.051.
9. Л.А. Бокерия, И.П. Асланиди, Д.М. Пурсанова, О.В. Мухоморова, И.В. Шурупова, Т.А. Катунина, и соавт. Использование полуквантитативной оценки результатов ПЭТ/КТ у пациентов с инфекцией имплантированных внутрисердечных устройств. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. 2019. 20(9-10): 703–848. DOI: 10.24022/1810-0694-2019-20-9-10-752-762
10. Chen W., Kim J., Molchanova-Cook O.P., Dilsizian V. The Potential of FDG PET/CT for Early Diagnosis of Cardiac Device and Prosthetic Valve Infection Before Morphologic Damages Emerge. *Curr Cardiol Rep*. 2014; 16: 459. DOI: 10.1007/s11886-013-0459-y.
11. Rouzet F., Chequer R., Benali K., Lepage L., Ghodbane W., Duval X., et al. Respective performance of 18F-FDG PET and radiolabeled leukocyte scintigraphy for the diagnosis of prosthetic valve endocarditis. *J Nucl Med*. 2014; 55 (12): 1980–5. DOI:10.2967/jnumed.114.141895
12. Jimenez-Ballve A., Perez-Castejon M.J., Delgado-Bolton R.C., et al. Assessment of the diagnostic accuracy of 18F-FDG PET/CT in prosthetic infective endocarditis and cardiac implantable electronic device infection: comparison of different interpretation criteria. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2016;43: 2401–12. DOI: 10.1007/s00259-016-3463-9.
13. Mathieu C., Mikail N., Benali K., Iung B., Duval X., Nataf P.,

et al. Characterization of 18F-fluorodeoxyglucose uptake pattern in noninfected prosthetic heart valves. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017; 10: e005585. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.116.005585.

14. Rojoa D, Kontopodis N, Antoniou SA, Ioannou CV, Antoniou GA. 18F-FDG PET in the diagnosis of vascular prosthetic graft infection: A diagnostic test accuracy meta-analysis. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2019;57:292-301. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.08.040>.

15. Scholtens A.M. 18F-Fluorodeoxyglucose PET/Computed Tomography in Endocarditis. *PET Clin*. 2020; 15 (2): 187–195. DOI: 10.1016/j.cpet.2019.11.003.

## References:

1. Klinicheskie rekomendatsii Ministerstva zdravookhraneniya Rossiyskoy Federatsii. *Infektsionnyy endokardit*. 2016. <https://racvs.ru/clinic/files/2016/infective-endocarditis.pdf> (in Russian).

2. Habib G., Lancellotti P., Antunes M.J., Bongjorni M.G., Casalta J.P., Del Zotti F., et al. ESC Scientific Document Group. 2015. ESC Guidelines for the management of infective endocarditis: The Task Force for the Management of Infective Endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Heart J*. 2015; 36: 3075–128. DOI:10.1093/eurheartj/ehv319.

3. Muratov R.M., Babenko S.I. Recommendations on profilaxis and treatment of infective endocarditis. *NTSSSKH im. A.N. Bakuleva*. Moscow. 2018. 32 p. (in Russian).

4. Lyons O.T., Baguneid M., Barwick T.D., Bell R.E., Foster N., Homer-Vanniasinkam S. Diagnosis of Aortic Graft Infection: A Case Definition by the Management of Aortic Graft Infection Collaboration (MAGIC). *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2016 Dec;52(6):758-763. DOI: 10.1016/j.ejvs.2016.09.007.

5. Gomes A, van Geel PP, Santing M, et al. Imaging infective endocarditis: adherence to a diagnostic flowchart and direct comparison of imaging techniques. *J Nucl Cardiol* 2018. [Epub ahead of print]. DOI: 10.1007/s12350-018-1383-8.

6. Mahmood M, Kendi AT, Ajmal S, et al. Meta-analysis of 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of infective endocarditis. *J Nucl Cardiol* 2017;26(3):922–35. DOI: 10.1007/s12350-017-1092-8.

7. Juneau D., Golfam M., Hazra S., Zuckier L.S., Garas S., Redpath C. Positron Emission Tomography and Single-Photon Emission Computed Tomography Imaging in the Diagnosis of Cardiac Implantable Electronic Device Infection. A systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017; 10: e005772. DOI: 10.1161/circimaging.116.005772.

8. Kim SJ, Lee SW, Jeong SY, Pak K, Kim K. A systematic review and meta-analysis of (18)F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography or positron emission tomography/computed tomography for detection of infected prosthetic vascular grafts. *J Vasc Surg* 2019;70:307-13 DOI: 10.1016/j.jvs.2019.01.051.

9. L.A. Bockeria, I.P. Aslanidis, D.M. Pursanova, O.V. Mukhortova, I.V. Shurupova, T.A. Katunina, et al. Semiquantitative analysis of PET/CT results in patients with cardiac implantable electronic device infection. *Bulletin NTSSSH them. A.N. Bakuleva*

16. Ahmed F.Z., James J., Cunnington C., Motwani M., Fullwood C., Hooper J. Early diagnosis of cardiac implantable electronic device generator pocket infection using 18F-FDG-PET/CT. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015; 16: 521–30. DOI: 10.1093/ehjci/jeu295.

17. Swart L.E., Gomes A., Scholtens A.M., Sinha B., Tanis W., Lam M.G. et al. Improving the Diagnostic Performance of 18F-Fluorodeoxyglucose Positron-Emission Tomography/Computed Tomography in Prosthetic Heart Valve Endocarditis. *Circulation*. 2018; 138(14): 1412–27. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.118.035032.

RAMS. 2019; 20 (9-10): 703-848. DOI: 10.24022/1810-0694-2019-20-9-10-752-762. (in Russian).

10. Chen W., Kim J., Molchanova-Cook O.P., Dilsizian V. The Potential of FDG PET/CT for Early Diagnosis of Cardiac Device and Prosthetic Valve Infection Before Morphologic Damages Emerge. *Curr Cardiol Rep*. 2014; 16: 459. DOI: 10.1007/s11886-013-0459-y.

11. Rouzet F., Chequer R., Benali K., Lepage L., Ghodbane W., Duval X., et al. Respective performance of 18F-FDG PET and radiolabeled leukocyte scintigraphy for the diagnosis of prosthetic valve endocarditis. *J Nucl Med*. 2014; 55 (12): 1980–5. DOI:10.2967/jnumed.114.141895

12. Jimenez-Ballve A., Perez-Castejon M.J., Delgado-Bolton R.C., et al. Assessment of the diagnostic accuracy of 18F-FDG PET/CT in prosthetic infective endocarditis and cardiac implantable electronic device infection: comparison of different interpretation criteria. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2016;43: 2401–12. DOI: 10.1007/s00259-016-3463-9.

13. Mathieu C., Mikail N., Benali K., Iung B., Duval X., Nataf P., et al. Characterization of 18F-fluorodeoxyglucose uptake pattern in noninfected prosthetic heart valves. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017; 10: e005585. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.116.005585

14. Rojoa D, Kontopodis N, Antoniou SA, Ioannou CV, Antoniou GA. 18F-FDG PET in the diagnosis of vascular prosthetic graft infection: A diagnostic test accuracy meta-analysis. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2019;57:292-301. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.08.040>.

15. Scholtens A.M. 18F-Fluorodeoxyglucose PET/Computed Tomography in Endocarditis. *PET Clin*. 2020; 15 (2): 187–195. DOI: 10.1016/j.cpet.2019.11.003.

16. Ahmed F.Z., James J., Cunnington C., Motwani M., Fullwood C., Hooper J. Early diagnosis of cardiac implantable electronic device generator pocket infection using 18F-FDG-PET/CT. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015; 16: 521–30. DOI: 10.1093/ehjci/jeu295.

17. Swart L.E., Gomes A., Scholtens A.M., Sinha B., Tanis W., Lam M.G. et al. Improving the Diagnostic Performance of 18F-Fluorodeoxyglucose Positron-Emission Tomography/Computed Tomography in Prosthetic Heart Valve Endocarditis. *Circulation*. 2018; 138(14): 1412–27. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.118.035032.