

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЭТ/КТ С 18F-ФТОРДЕЗОКСИГЛЮКОЗОЙ У ПАЦИЕНТОВ С ИНФЕКЦИОННЫМ ЭНДОКАРДИТОМ ПРОТЕЗИРОВАННОГО КЛАПАНА

Асланиди И.П., Пурсанова Д.М., Мухортова О.В., Шурупова И.В.,
Катунина Т.А., Александрова С.А., Муратов Р.М., Попов Д.А.

Цель исследования. Изучить особенности полуколичественной оценки результатов ПЭТ/КТ с 18F-фтордезоксиглюкозой у больных с подтвержденным диагнозом инфекционного эндокардита протезированного клапана (ИЭ ПК) и без него.

Материалы и методы. В анализ включены результаты ПЭТ/КТ, выполненной 50 больным с протезированием клапанов в анамнезе: с интраоперационно подтвержденным диагнозом ИЭ (n=30) и без него, обследованных по поводу онкологических заболеваний (n=20) – контрольная группа. Результаты ПЭТ/КТ оценивались визуально и полуколичественно – с расчетом показателей интенсивности накопления препарата SUVmax и индекса накопления (ИН). Для расчёта ИН в качестве референтных зон использовались пул крови в нисходящей аорте и паренхима печени.

Результаты. При визуальной оценке у всех больных с подтвержденным диагнозом ИЭ (n=30) в зоне протезированного клапана (ПК) определялось патологическое накопление 18F-ФДГ. В контрольной группе (n=20) патологического накопления 18F-ФДГ в области ПК не определялось.

По данным полуколичественной оценки значения SUVmax и ИН (по аорте и по печени) были значимо выше ($p < 0,001$) у пациентов с подтвержденным диагнозом ИЭ ПК, по сравнению с больными из контрольной группы.

По данным ROC-анализа определены пороговые значения SUVmax и ИН, при которых выявлены оптимальные соотношения чувствительности и специфичности ПЭТ/КТ в диагностике ИЭ ПК: SUVmax = 3,35 (86% и 90% соответственно), ИН по аорте = 1,95 (89% и 85%), ИН по печени = 1,45 (82% и 85%).

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о высокой информативности как визуального, так и полуколичественного методов оценки ПЭТ/КТ-изображений в диагностике ИЭ ПК. Определен наиболее информативный показатель интенсивности накопления 18F-ФДГ для оценки состояния ПК – индекс накопления с использованием в качестве референтной зоны пула крови в нисходящей аорте – пороговое значение составило 1,95 (AUC = 0,961).

Ключевые слова: ПЭТ/КТ, 18F-ФДГ, 18F-фтордезоксиглюкоза, инфекционный эндокардит протезированного клапана, протезный эндокардит, SUVmax, индекс накопления.

Контактный автор: Пурсанова Д.М., e-mail: dmpursanova@bakulev.ru

Для цитирования: Асланиди И.П., Пурсанова Д.М., Мухортова О.В., Шурупова И.В., Катунина Т.А., Александрова С.А., Муратов Р.М., Попов Д.А. Использование полуколичественной оценки при интерпретации результатов ПЭТ/КТ с 18F-фтордезоксиглюкозой у пациентов с инфекционным эндокардитом протезированного клапана. REJR 2021; 11(1):125-136. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-125-136.

Статья получена: 04.09.20

Статья принята: 04.02.21

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

SEMIQUANTITATIVE ANALYSIS OF PET/CT RESULTS IN PATIENTS WITH PROSTHETIC VALVE INFECTIVE ENDOCARDITIS

Aslanidis I.P., Pursanova D.M., Mukhortova O.V., Shurupova I.V., Katunina T.A., Alexandrova S.A., Muratov R.M., Popov D.A.

Purpose. To investigate the semi-quantitative assessment of 18F-fluorodeoxyglucose PET/CT in patients with prosthetic valve infectious endocarditis (PV IE) and without it.

Material and methods. The analysis included results of 18F-FDG PET/CT examinations performed in 50 patients with PV – with surgically confirmed IE (n=30) and with malignancies used as control group (n=20). PET/CT results were assessed visually and semi-quantitatively with calculation of parameters of 18F-FDG uptake intensity in the PV area – SUVmax and SUVratio. SUVratio was calculated as SUVmax in the CIED to SUVmean in the reference zone – aortic blood pool and liver parenchyma.

Results. Visual analysis of PET/CT results revealed abnormal 18F-fluorodeoxyglucose uptake in all patients with IE (n=30); in the control group the uptake was normal in all cases (n=20).

In semiquantitative analysis all parameters in the PV zone, SUVmax and two types of SUVratios, were higher in patients with confirmed IE, compared to patients without it ($p < 0.001$).

ROC-curve analysis for thresholds of SUVmax and two types of SUVratios for the diagnosis of PV IE by PET/CT with optimal sensitivity and specificity was determined: SUVmax = 3.35 (86% and 90%, respectively), SUVratio using aorta = 1.95 (89% and 85%), SUVratio using liver = 1.45 (82% and 85%).

Conclusion. According to the obtained data, both visual analysis and semi-quantitative assessment of 18F-fluorodeoxyglucose PET/CT images showed a good diagnostic performance in the detection of PV IE. The optimal parameter for the diagnosis of IE PV is the SUVratio using aorta with threshold of 1.95 (AUC=0.961).

Keywords: PET/CT, 18F-FDG, 18F-fluorodeoxyglucose, infectious endocarditis, infection, prosthetic valve, SUVmax, SUVratio.

Corresponding author: Pursanova D.M., e-mail: dipoursanidou@gmail.com

For citation: Aslanidis I.P., Pursanova D.M., Mukhortova O.V., Shurupova I.V., Katunina T.A., Alexandrova S.A., Muratov R.M., Popov D.A. Semiquantitative analysis of PET/CT results in patients with prosthetic valve infective endocarditis. REJR 2021; 11(1):125-136. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-125-136.

Received: 04.09.20

Accepted: 04.02.21

Частота инфекционного эндокардита (ИЭ) в Российской Федерации имеет высокие показатели и достигает 46,3 человека на 1 млн. населения в год, при этом треть случаев составляет ИЭ протезированного клапана (ПК) и/или имплантированных электронных внутрисердечных устройств [1, 2]. Летальность при указанных заболеваниях достигает 25–59% в зависимости от клинической ситуации и выбора лечения [2, 3]. Эффективное лечение ИЭ ПК невозможно без своевременного хирургического вмешательства для устранения очага инфекции, восстановления внутрисердечной гемодинамики и профилактики осложнений [1 – 3]. Поэтому своевре-

менная диагностика ИЭ, а также оценка распространенности процесса являются важной проблемой современной кардиологии и кардиохирургии.

Сложность выявления ИЭ ПК связана с полиморфной клинической картиной, а также отсутствием «золотого стандарта» для постановки диагноза. Диагностика ИЭ ПК основывается на сочетании больших и малых критериев, основными из которых являются повышенная температура тела, положительные посевы крови, а также результаты рутинно используемых трансторакальной и чреспищеводной эхокардиографии (ЭхоКГ), компьютерной томографии с внутривенным контрастированием и магнит-

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

но-резонансной томографии [1 – 5]. Тем не менее, отрицательные данные лабораторно-инструментальных данных не исключают наличия ИЭ ПК. Это ведет к необходимости поиска новых методов диагностической визуализации, одним из которых является позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с КТ (ПЭТ/КТ), с использованием ^{18}F -фтордезоксиглюкозы (^{18}F -ФДГ). Преимуществом данного неинвазивного метода гибридной молекулярной визуализации является возможность ранней оценки метаболических изменений, до появления структурного субстрата [6, 7]. Использование ^{18}F -ФДГ для диагностики воспалительного процесса основано на его интенсивном накоплении клетками воспаления – активированными гранулоцитами, лимфоцитами и макрофагами [6 – 8]. В зарубежных исследованиях появились данные о высокой информативности ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в диагностике ИЭ ПК [3 – 7, 9]. В последних рекомендациях Европейского общества кардиологов патологическое накопление ^{18}F -ФДГ в области ИЭ ПК включено в модифицированные критерии Дьюка в качестве «большого диагностического критерия» [3].

В нашей стране основной объем публикаций по ПЭТ/КТ в кардиологии был посвящен оценке перфузии и метаболизма миокарда у больных с сердечной недостаточностью [10, 11]. Исследования по изучению возможностей ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в диагностике инфекционных процессов в сердце и сосудах в России не проводились.

Цель исследования.

Изучить особенности визуальной и полуколичественной оценки результатов ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ у больных с подтвержденным ИЭ ПК и без него (группой контроля).

Материалы и методы.

В анализ включены результаты обследования 50 больных с ПК, которым выполнена ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в ПЭТ-центре отдела ядерной диагностики НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева: 30/50 (60%) с подтвержденным ИЭ и 20/50 (40%) без него.

Пациенты с подтвержденным диагнозом ($n = 30$) обследовались проспективно по поводу подозрения на ИЭ ПК: аортального ($n = 20$), в том числе после TAVI ($n = 2$), трикуспидального ($n = 5$), митрального ($n = 4$) клапанов и клапана легочной артерии ($n = 1$). В данную группу больных вошло 16 мужчин и 14 женщин; средний возраст – $52+15$ (30–84) лет. Медиана времени после протезирования клапана составила 32 (3–279) месяца.

У всех 30 пациентов данной группы была лихорадка неясного генеза, у большинства (24/30 (80%)) – эпизоды подъема температуры тела имели рецидивирующий характер и требо-

вали проведения повторных курсов антибиотикотерапии. У всех больных анализируемой группы на момент выполнения ПЭТ/КТ имелись результаты лабораторно-инструментальных обследований – ЭхоКГ (трансторакальной и чреспищеводной) и трехкратных посевов крови. По данным ЭхоКГ у 12/30 (40%) больных выявлены вегетации и/или абсцессы в зоне ПК, у 10/30 (33%) получены сомнительные результаты, у 8/30 (27%) – изменений не выявлено. Результаты посевов крови у 16/30 (53%) больных были положительными, у остальных 14/30 (47%) – стерильными. Все пациенты анализируемой группы были прооперированы – хирургическое вмешательство выполнялось через 13+12 (1–45) дней после проведения ПЭТ/КТ. ИЭ ПК был подтвержден на основании интраоперационных данных – визуальной оценки и результатов посева интраоперационного материала.

В базе данных ПЭТ-центра за период с января 2014 г. по март 2020 г. проведен поиск пациентов с наличием в анамнезе протезирования клапана сердца и нормальной температурой тела при проведении ПЭТ/КТ. Выявлено 29 пациентов, которым ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ выполнялась по поводу онкологических заболеваний: для определения стадии ($n = 8$) или диагностики рецидива ($n = 21$). У 9/29 (31%) отмечалось интенсивное физиологическое накопление ^{18}F -ФДГ в миокарде, исключающее возможность точной оценки зоны ПК. Остальные 20 пациентов были включены в контрольную группу без ИЭ ПК, которую составили 16 мужчин и 4 женщины, средний возраст – $65+14$ (31–85) лет. Время между протезированием клапана и выполнением ПЭТ/КТ составило не менее 3 месяцев.

Исследования выполняли на гибридной системе ПЭТ/КТ «Biograph-64» TruePoint (Siemens). Онкологическим пациентам проводилась стандартная подготовка – соблюдение безуглеводной диеты в течение 12 часов с периодом голодания перед исследованием не менее 6 часов. Всем больным с подозрением на ИЭ ПК с целью уменьшения физиологического накопления ^{18}F -ФДГ в миокарде проводилась специальная подготовка – строгая диета в течение 48 часов перед исследованием (пациентам выдавался список возможных к употреблению безуглеводных продуктов) с периодом голодания не менее 15 часов.

Перед введением ^{18}F -ФДГ всем пациентам проводилось измерение уровня глюкозы в крови, которое в анализируемой группе не превышало 7,0 ммоль/л. Сканирование выполнялось через 90 минут после внутривенного введения ^{18}F -ФДГ (175–200 МБк) по стандартному протоколу «все тело» – от уровня глазниц до верхней трети бедра. После проведения топограммы осуществлялось КТ-сканирование (170

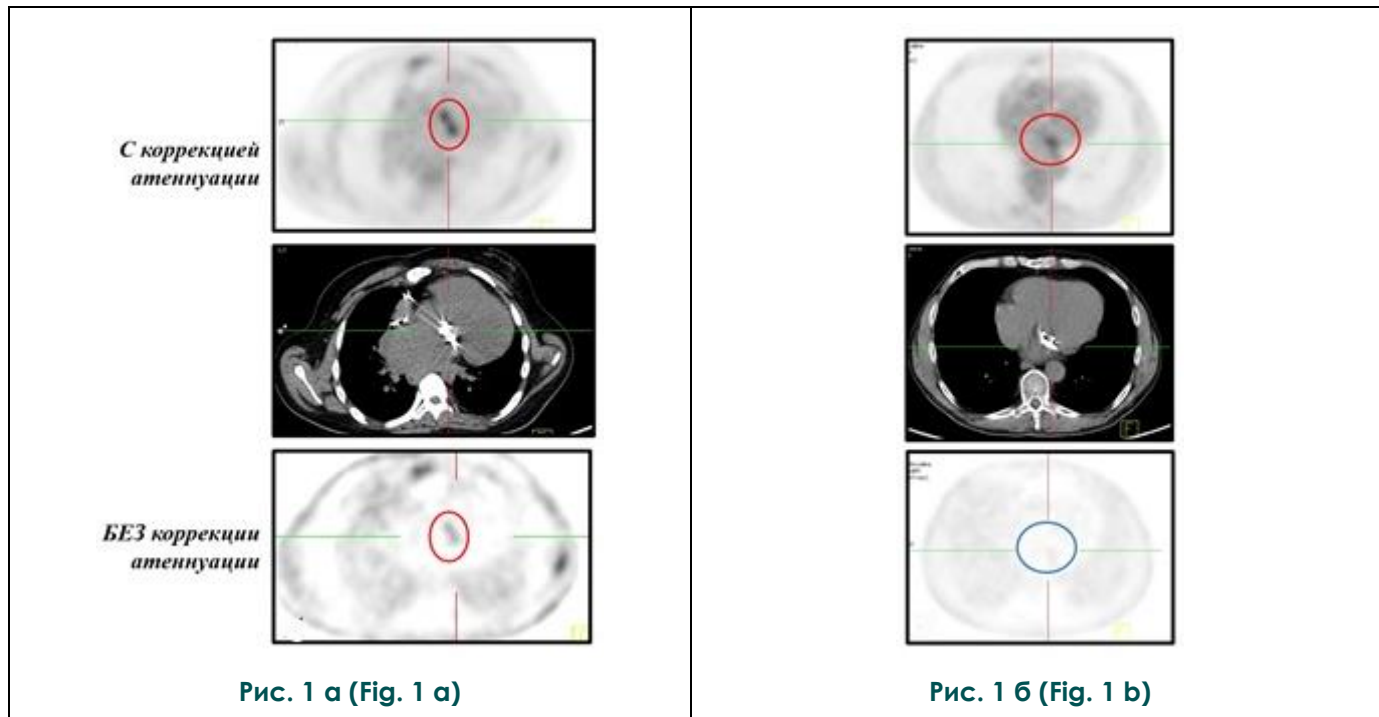


Рис. 1. Примеры накопления 18F-ФДГ в зонах интереса.

А, Б – сверху вниз аксиальные проекции ПЭТ-изображения с коррекцией аттенуации, КТ и ПЭТ-изображения без коррекции аттенуации.

А – Патологический очаг гиперметаболической активности в зоне протеза клапана (красные круги) определяется на обоих типах изображений – как с коррекцией аттенуации, так и без коррекции аттенуации – истинно положительный результат, свидетельствующий о наличии инфекционного процесса.

Б – В зоне протеза клапана повышенное накопление 18F-ФДГ определяется только на изображениях с коррекцией аттенуации (красный круг), тогда как на изображениях без коррекции аттенуации не визуализируется (синий круг) – аттенуационный артефакт.

Fig. 1. Examples of 18F-FDG uptake in the regions of interest.

A, B – from the top to the bottom axial projections of attenuation correction PET, CT and non-attenuation correction images.

A – abnormal 18F-FDG uptake (red circle) in the prosthetic valve area detected on both types – attenuation correction and non-attenuation correction images.

B – attenuation correction image PET shows focal 18F-FDG uptake in the prosthetic valve area (red circle) which is not detected on non-attenuation correction image (blue circle).

mA, 120 kV, FOV 700 мм, с толщиной среза 5,0 мм и перекрытием срезов 3,0 мм). Следующим этапом в этом же положении пациента проводилось ПЭТ-сканирование в режиме 3D. Для коррекции искажения эмиссионных данных за счет рассеивания и поглощения излучения окружающими тканями (аттенуации) ПЭТ-данные реконструировались по КТ сканам. Также в стандартном автоматическом режиме проводилось совмещение (фузионирование) реконструированных ПЭТ и КТ данных.

Интерпретация изображений осуществлялась с использованием визуального (качественного) и полуколичественного методов оценки. Визуальный анализ проводился по виртуальному трехмерному ПЭТ-изображению, а также по

всем трем типам изображений (КТ, ПЭТ и фузионированному) в трех проекциях. Для исключения артефактов, связанных с реконструкцией изображения, проводился анализ ПЭТ-изображений, полученных как с коррекцией аттенуации, так и без нее. Очаги повышенного накопления препарата (гиперметаболизма), не связанные с его физиологическим распределением и определяющиеся на обоих типах изображений – с коррекцией аттенуации и без коррекции аттенуации – расценивались как патологические (рис. 1).

В зонах интереса проводилось количественное измерение значения стандартизованного накопления (Standardized Uptake Volume, SUV). Максимальное значение SUV

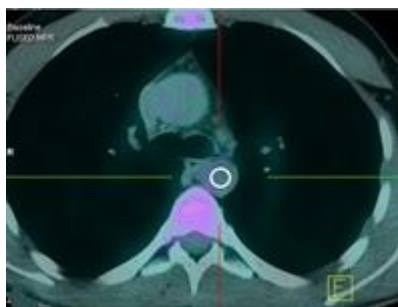


Рис. 2 а (Fig. 2 а)

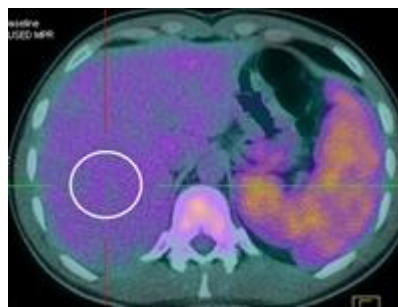


Рис. 2 б (Fig. 2 б)

Рис. 2. Выделение областей интереса (белый круг) в референтных зонах.

А – нисходящей аорте на уровне бифуркации трахеи, Б – правой доле печени.

Fig. 2. Delineation the region of interest (white circle) in the reference areas.

A - descending aorta at the level of the bifurcation of trachea, B – right lobe of the liver.

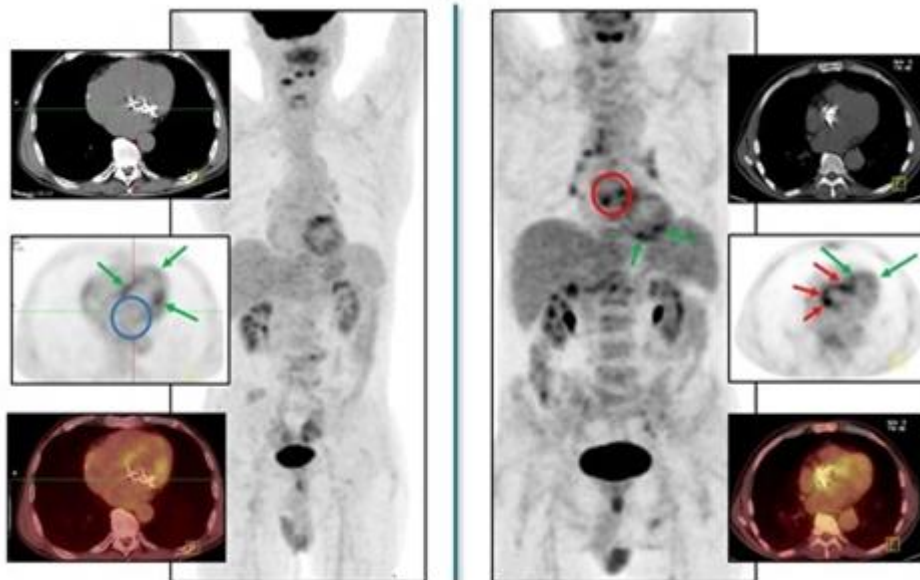


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. ФМСКТ левой слуховой трубы. Доброволец Б., 39 лет. 3D-реконструкции в аксиальной плоскости.

Последовательная серия (1-8) динамического исследования. На томограммах стрелками указана раскрытая и сомкнутая неизменная слуховая труба.

Fig. 3. FMSCT of the left eustachian tube. Volunteer B., 39 y. 3D-reconstruction in axial plan.

The series (1-8) of dynamic research. On the tomograms arrows indicate an open and closed healthy eustachian tube.

(SUVmax) автоматически рассчитывалось по формуле: $SUV_{max} = A1 / [A_0 / M]$, где A1 – концентрация активности в области интереса (МБк/г), A₀ – введенная активность (МБк), M – масса тела (г). Для исключения погрешностей, связанных с SUVmax, мы рассчитывали относительный показатель – индекс накопления (ИН), значение которого менее вариабельно, а, следовательно, является более универсальным.

ИН рассчитывался как соотношение значений SUVmax в зоне интереса к SUVmean в референтной зоне – в нисходящей аорте на уровне бифуркации трахеи (зона интереса выделялась без захвата сосудистой стенки – для исключения повышенного накопления, связанного с атеросклеротическими изменениями) и в паренхиме правой доли печени (рис. 2).

Статистические расчеты и построения

Таблица №1. Результаты полуколичественной оценки ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ в анализируемых группах больных.

Показатель	Инфекционный эндокардит ср.знач. ± ст. отклон. медиана	p	Контрольная группа ср.знач. ± ст. отклон. медиана
SUVmax	5,1 ± 2,1 (3,0 – 12,4) 4,5	0,000	2,8 ± 0,4 (2,0 – 3,6) 2,9
индекс накопления по аорте	3,6 ± 1,6 (1,8 – 8,9) 3,2	0,000	1,6 ± 0,4 (1,3 – 2,7) 1,6
индекс накопления по печени	2,4 ± 1,1 (1,3 – 6,5) 2,2	0,000	1,2 ± 0,2 (1,0 – 1,8) 1,1

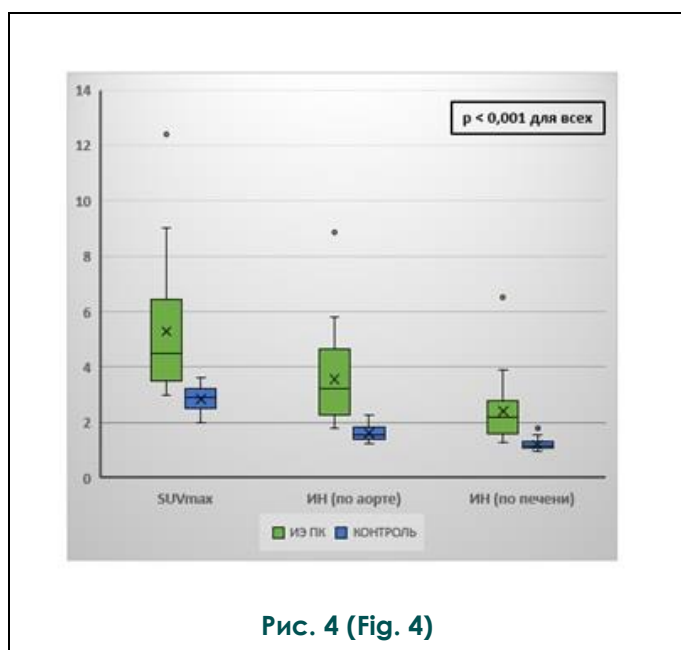


Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. Диаграмма.

Сравнение значений SUVmax и индекса накопления (ИН) с использованием различных референтных зон (аорты и печени) в анализируемых группах больных с подтвержденным инфекционным эндокардитом (ИЭ ПК) и без него (контрольной).

Fig. 4. Diagram.

Comparison of SUVmax and SUVratios using different reference regions (aorta and liver) in the analyzed groups of patients with infective endocarditis and without infective endocarditis (control group).

графиков проводились с использованием программ EXCEL и SPSS Statistics. Значения средних по группам представлены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение, 95% доверительный интервал, который учиты-

вает объем малой выборки. Для выявления достоверности межгрупповых различий для числовых показателей (SUVmax, ИН) использовали критерий Уилкоксона-Манна-Уитни, различия показателей признавали статистически значимыми при $p < 0,05$. Для определения пороговых значений SUVmax и ИН для диагностики ИЭ ПК по данным ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ проведен ROC-анализ.

Результаты.

Проанализированы результаты ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ в изученных группах больных: 30/50 (60%) с подтвержденным ИЭ ПК и 20/50 (40 %) без него.

Результаты визуальной оценки ПЭТ/КТ в группе больных с подтвержденным ИЭ ПК (n = 30).

По данным визуальной оценки у всех больных данной группы (n = 30) получены истинно положительные результаты ПЭТ/КТ – определялось патологическое накопление 18F-ФДГ в зоне ПК на обоих типах изображений – с коррекцией и без коррекции аттенуации данных.

Следует отметить, что у 5/30 (17%) больных при выполнении ПЭТ/КТ определялось фрагментарное физиологическое накопление 18F-ФДГ в миокарде левого желудочка, которое могло быть обусловлено как погрешностями в диете, так и являться вариантом нормы. У данных пациентов выявленное накопление определялось вне зоны интереса (ПК), поэтому не вызвало сложностей в интерпретации результатов ПЭТ/КТ и не повлияло на точность оценки изображения (рис. 3).

Важно, что в группе больных с подтвержденным диагнозом ИЭ ПК и положительными результатами ПЭТ/КТ (n = 30) результаты ЭхоКГ и посевов крови были положительными только у

Таблица №2. Результаты ROC-анализа для определения пороговых значений SUVmax и индексов накопления (ИН) в двух референтных зонах при 100% чувствительности и специфичности.

Показатель	Пороговое значение при 100% спец-ти	Чувств-ть, %	Пороговое значение при 100% чувств-ти	Спец-ть, %	AUC
SUVmax	3,8	72	3,0	65	0,947
ИН по аорте	2,4	74	1,7	70	0,961
ИН по печени	1,9	67	1,3	65	0,956

Таблица №3. Результаты ROC-анализа для определения пороговых значений SUVmax и индексов накопления (ИН) в двух референтных зонах.

Показатель	Пороговое значение	Чувствительность, %	Специфичность, %	AUC
SUVmax	3,35	86%	90%	0,947
ИН по аорте	1,95	89%	85%	0,961
ИН по печени	1,45	82%	85%	0,956

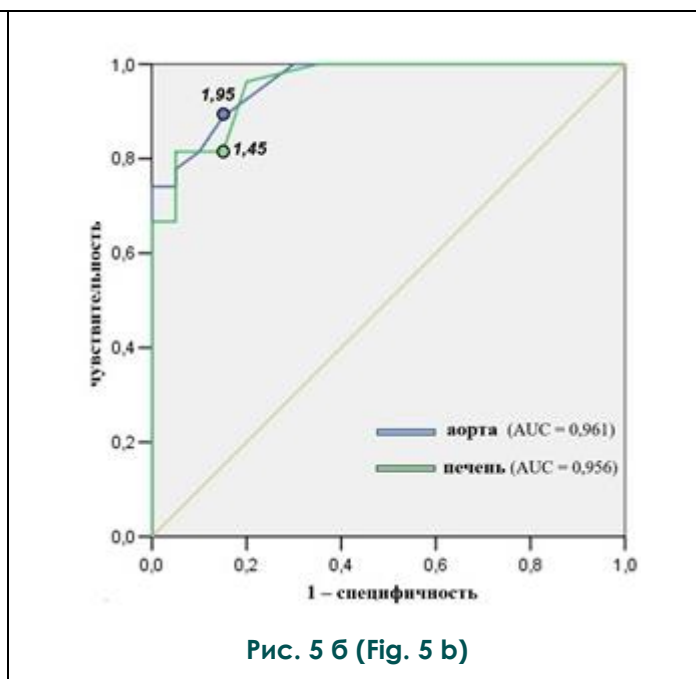
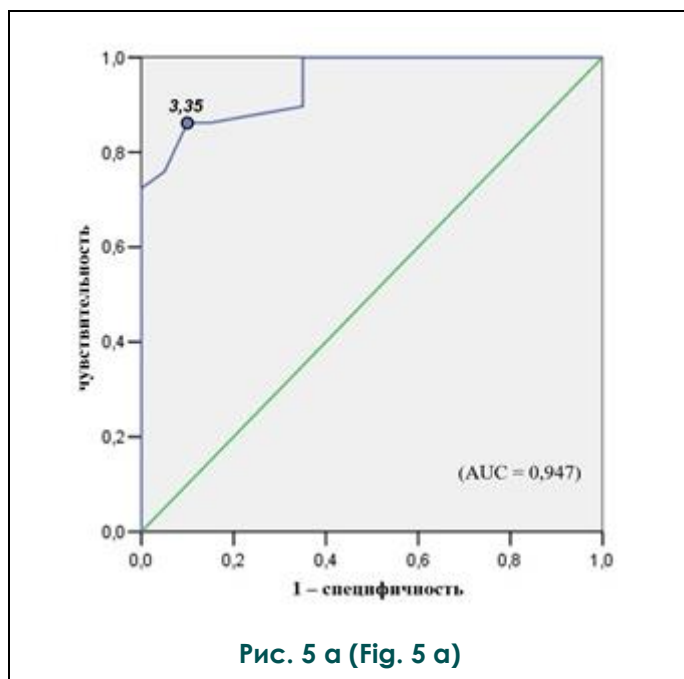


Рис. 5. ROC-кривые для определения пороговых значений (А) SUVmax и (Б) индекса накопления с использованием двух референтных зон – аорты и печени.

Fig. 5. ROC-curve analysis for thresholds of (A) SUVmax and (B) two types of SUVratios (aorta and liver).

5/30 (17%) больных. У остальных 25/30 (83%) больных результаты лабораторно-инструментальных обследований были отрицательными или сомнительными.

У 18/30 (60%) получены отрицательные ($n = 8$) или сомнительные ($n = 10$) результаты трансторакальной и чреспищеводной ЭхоКГ. У 14/30 (47%) – стерильные посева крови, у остальных 16/30 (53%) пациентов выявлен рост *Enterococcus faecalis* ($n = 10$), *Staphylococcus epidermidis* ($n = 5$) и *Staphylococcus aureus* ($n = 1$). При этом у 4/30 (13%) пациентов диагноз ИЭ ПК поставлен с учетом результатов ПЭТ/КТ как основного критерия при отрицательных данных лабораторно-инструментальных исследований.

У 22/30 (73%) пациентов с подтвержденным диагнозом ИЭ ПК и положительными результатами ПЭТ/КТ воспалительный процесс был выявлен не только в зонах интереса, но и другой, неизвестной ранее, локализации (всего 31 очаг): в средостении в зоне уплотненной клетчатки ($n = 6$) и шовного материала ($n = 5$), в легких ($n = 6$), по ходу протеза грудной аорты ($n = 5$), в грудине с признаками остеомиелита ($n = 5$), в абсцессе перикарда ($n = 1$), в зоне ИЭ нативного клапана ($n = 1$), в селезенке ($n = 1$), а также в образовании толстой кишки ($n = 1$) – впоследствии верифицирована аденокарцинома.

Результаты визуальной оценки ПЭТ/КТ в контрольной группе больных ($n = 20$).

У всех больных контрольной группы получены истинно отрицательные результаты ПЭТ/КТ – патологического накопления 18F-ФДГ в зоне ПК выявлено не было.

Полуколичественная оценка результатов ПЭТ/КТ в анализируемой группе больных ($n = 50$).

Проведена полуколичественная оценка результатов ПЭТ/КТ в анализируемых группах больных с изучением значений SUVmax и ИН в зоне ПК (табл. №1, рис. 4).

Значения SUVmax и двух видов ИН в зоне ПК (с использованием в качестве референтных зон пула крови аорты и паренхимы печени) у больных с подтвержденным ИЭ были значимо выше, по сравнению с больными из контрольной группы ($p < 0,001$) (табл. №1, рис. 4).

Проведен ROC-анализ и определены пороговые значения SUVmax и ИН для диагностики ИЭ ПК по данным ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ (табл. №2 и №3; рис. 5). В таблице №2 представлены пороговые значения для указанных показателей при 100% специфичности с соответствующими показателями чувствительности и наоборот. Площадь под кривой для всех показателей составила более 0,947 (табл. №2). Оптимальное соотношение чувствительности и специфичности – 89% и 85% – получено для порогового зна-

чения ИН по аорте, которое составило 1,95 (табл. №3).

Обсуждение.

ИЭ ПК является смертельно опасным заболеванием, диагностика которого остается одной из главных задач современной медицины. Неспецифическая клиническая картина, а также достаточно высокий процент получения ложноотрицательных результатов лабораторных и инструментальных методов обследования обуславливают основные сложности своевременной диагностики ИЭ ПК [1 – 5]. В настоящем исследовании среди больных с истинно положительными результатами ПЭТ/КТ доля пациентов с отрицательными и/или сомнительными результатами ЭхоКГ и/или стерильными посевами крови составила 83% (25/30). Именно данная категория представляет наибольший клинический интерес. Возможность диагностировать инфекционный процесс по результатам ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ на ранних этапах до появления структурных изменений, по мнению ряда авторов, связана с высокой активностью воспалительного процесса на начальных стадиях заболевания [6, 7]. Другие авторы также отмечают высокую информативность ПЭТ/КТ у больных с ИЭ ПК с отрицательными или сомнительными лабораторно-инструментальными данными – истинно положительные результаты получены у 58% (11/19) и 46% (24/52) больных [12, 13].

Важным вопросом при постановке диагноза ИЭ ПК является определение распространенности инфекционного процесса – диагностика септических эмболов и других очагов инфекции. Раннее и точное выявление таких осложнений играет ключевую роль в определении тактики лечения и прогнозе. Очаги инфекции экстракардиальной локализации встречаются у 20–50% пациентов с ИЭ ПК, при этом в большинстве случаев их выявление затруднено в связи с отсутствием клинических проявлений [9, 14, 15]. В настоящем исследовании получен более высокий результат – по данным ПЭТ/КТ в режиме исследования «все тело» дополнительные очаги инфекции выявлены в 73% случаев (22/30) с подтвержденным ИЭ ПК – результаты ПЭТ/КТ повлияли на тактику лечения во всех указанных случаях.

Все авторы сообщают о том, что для определения инфекционного процесса по данным ПЭТ/КТ, прежде всего, должна использоваться визуальная оценка – важен сам факт патологического накопления 18F-ФДГ, причем на обоих типах изображений – как с коррекцией аттенуации данных, так и без нее [13, 16 – 18]. В анализируемой группе больных у всех 30 пациентов с подтвержденным ИЭ ПК определялось патологическое накопление 18F-ФДГ по данным визуальной оценки.

Ряд авторов обратили внимание, что у некоторых пациентов с ложноположительными, по данным визуальной оценки, результатами ПЭТ/КТ отмечалась низкая интенсивность накопления ^{18}F -ФДГ в зоне интереса [12, 13, 17 – 19]. В связи с этим в дополнение к визуальной оценке предложено проводить менее субъективный полуколичественный анализ изображений с расчетом показателя интенсивности накопления ^{18}F -ФДГ в зоне интереса SUVmax (Standardized uptake volume). Однако следует отметить, что данные полуколичественной оценки с использованием SUVmax в полной мере не могут быть экстраполированы на исследования, выполненные в различных ПЭТ-центрах. Это связано с тем, что показатель SUVmax зависит от целого ряда факторов – настроек конкретного сканнера, протокола сканирования, параметров реконструкции изображений, введенной активности препарата, а также массы тела пациента [20].

Для исключения погрешностей, связанных с расчетом SUVmax, предложено определять относительный показатель – ИН, значение которого в меньшей степени зависит от вышеперечисленных факторов, а, следовательно, является более универсальным. ИН рассчитывается как соотношение значений SUVmax в зоне интереса к SUVmean в определенной референтной зоне. Сравнение патологического накопления ^{18}F -ФДГ с областями нормального распределения радиофармпрепарата широко используется при диагностике лимфопролиферативных заболеваний и системных васкулитов [8, 20, 21]. В последнее время данная методика стала применяться и при анализе пациентов с ИЭ ПК – различные исследователи используют различные референтные зоны – пул крови в средостении (левом предсердии или аорте), паренхиму печени и легких [12, 13, 22 – 24].

В представленном исследовании проведен анализ полуколичественной оценки результатов ПЭТ/КТ у больных с подтвержденным ИЭ ПК ($n = 30$) и в группе контроля ($n = 20$). В качестве референтных зон мы выбрали пул крови в нисходящей аорте на уровне бифуркации трахеи и паренхиму правой доли печени (рис. 2). В представленном исследовании значения SUVmax и ИН по аорте и печени были достоверно выше у пациентов с подтвержденным ИЭ ПК, по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$). Другие исследователи получили аналогичные результаты [12, 13, 17, 22 – 24]. Большинство авторов при полуколичественной оценке использовали ИН только по аорте. Средние значения показателей интенсивности накопления в зоне ПК при наличии ИЭ и без него по данным различных исследователей составили: для SUVmax – 5,8-7,4 против 0,5-3,3; для ИН – 2,4-3,95 против 0,38-1,5, соответственно [12, 13, 17, 22 – 25]. Анало-

гичные показатели в настоящем исследовании составили: для SUVmax – 5,1 против 2,8; ИН по аорте – 3,6 против 1,6; ИН по печени – 2,4 против 1,2 соответственно.

Swart и соавт. проанализировали большую группу больных с ПК ($n = 111$), включавшую пациентов с подозрением на ИЭ, у которых диагноз впоследствии был подтвержден или исключен, а также контрольную группу больных без ИЭ, обследованных по другим причинам [17]. Авторы провели ROC-анализ и определили пороговое значение показателя ИН по пулу крови в нисходящей аорте, которое составило 2,1 при чувствительности и специфичности 75% и 86% соответственно (AUC = 0,83). В настоящем исследовании проанализирована группа больных с ПК ($n = 50$), которая также включала пациентов, обследованных по поводу подозрения не ИЭ ПК, но с только подтвержденным впоследствии диагнозом, и аналогично группу онкологических больных без ИЭ ПК. Проанализировано несколько показателей интенсивности накопления РФП в зоне ПК и определен наиболее информативный из них – ИН по аорте. Пороговое значение для указанного показателя составило 1,95 при чувствительности и специфичности 89% и 85% соответственно (AUC = 0,96).

Таким образом, сопоставление собственных результатов с данными других исследований подтверждает вариабельность значений SUVmax. Получение единого порогового значения для более универсального показателя – ИН – также оказалось проблематичным. Основными факторами, обуславливающими вариабельность данного показателя, по нашему мнению, являются различия в периоде накопления ^{18}F -ФДГ, который в различных исследованиях составляет от 60 до 180 минут [25, 26].

Заключение.

Полученные результаты показали, что у больных без наличия инфекционного процесса накопление ^{18}F -ФДГ в зоне протезированного клапана невысокое. Визуальную оценку результатов ПЭТ/КТ целесообразно дополнять полуколичественной с расчетом индекса накопления ^{18}F -ФДГ. Определены пороговые значения показателей интенсивности накопления ^{18}F -ФДГ для диагностики инфекционного эндокардита протезированного клапана по данным ПЭТ/КТ – наиболее информативным показателем для оценки состояния протезированного клапана является индекс накопления с использованием в качестве референтной зоны пула крови в нисходящей аорте – пороговое значение для данного показателя составило 1,95 при AUC = 0,961.

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. Муратов Р.М., Бабенко С.И. Рекомендации по профилактике и лечению инфекционного эндокардита. ННПССХ им. А.Н.Бакулева. Москва. 2018, 32 с.
3. 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.
4. Gomes A., Glaudemans A.W.J.M., Touw D.J., van Melle J.P., Willems T.P., Maas A. H. et al. Diagnostic value of imaging in infective endocarditis: a systematic review. *Lancet Infect Dis* 2017; 17 (1): e1–14. DOI: 10.1016/S1473-3099(16)30141-4
5. Erba A.P., Pizzi M.N., Roque A., Salaun E., Lancellotti P.,ornos P., Habib G. Multimodality Imaging in Infective Endocarditis An Imaging Team Within the Endocarditis Team. *Circulation.* 2019; 140: 1753-1765. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.040228
6. 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.
7. 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
8. Асланиди И.П., Манукова В.А., Мухортова О.В., и др. Позитронно-эмиссионная томография с 18F-ФДГ в оценке эффективности лечения гигантоклеточного артериита и артериита Такаясу. Бюллетень НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН «Сердечно-сосудистые заболевания» 2017; 18 (4): 380–90. DOI:10.24022/1810-0694-2017-18-4-380-390.
9. Mahmood M., Kendi A.T., Ajmal S., Farid S., O'Horo J.C., Chareonthaitawee P., et al. Meta-analysis of 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of infective endocarditis. *J Nucl Cardiol.* 2017. DOI: 10.1007/s12350-017-1092-8. [Epub ahead of print]
10. Бокерия Л.А., Асланиди И.П., Вахромеева М.Н., Шурупова И.В., Рюмина Е.Н., Бершвили И.И., Голухова Е.З., Джитава Т.Г. Однофотонная компьютерная томосцинтиграфия миокарда с изотопами 201Тl и 99m Tc в диагностике стенозирующего поражения коронарных артерий. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН Сердечно-сосудистые заболевания. 2002; 3 (7): 70–78.
11. Бокерия Л.А., Асланиди И.П., Шурупова И.В., Гранов А.М., Тютин Л.А., Рыжкова Д.В., Дерезянко Е.П., Катунина Т.А., Екаева И.В., Рогова Т.В. Позитронно-эмиссионная томография в кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии. Москва, Национальный научно-практический центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева, 2010, 236 с.
12. Pizzi M.N., L. Dos-Subira, Roque A., Fernandez-Hidalgo N., Cuellar-Calabria H., Ferreira-Gonzalez I., Domenech A.P., et al. 18F-FDG-PET/CT-angiography in the diagnosis of infective endocarditis in and cardiac device infection in adult patients with congenital heart disease and prosthetic material. *Int J Cardiol.* 2017; 248: 396-402. doi: 10.1016/j.ijcard.2017.08.008.
13. Pizzi M.N., Roque A., Fernandez-Hidalgo N., Cuellar-Calabria H., Ferreira-Gonzalez I., Gonzalez-Alujas M.T., et al. Improving the diagnosis of infective endocarditis in prosthetic valves and intracardiac devices with 18F-FDG-PET/CT-angiography: initial results at an infective endocarditis referral center. *Circulation.* 2015; 132 (12): 1113–26. DOI:10.1161/circulationaha.115.015316
14. Graziosi M., Nanni C., Lorenzini M., Diemberger I., Bonfiglioli R., Pasquale F., et al. Role of 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of infective endocarditis in patients with an implanted cardiac device: a prospective study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2014; 41 (8): 1617–23. DOI:10.1007/s00259-014-2773-z.
15. Orvin K., Goldber E., Bernstine H., Groshar D3, Sagie A4, Kornowski R, et al. The role of FDG-PET/CT imaging in early detection of extracardiac complications of infective endocarditis. *Clin Microbiol Infect.* 2015; 21: 69–76. DOI: 10.1016/j.cmi.2014.08.012.
16. 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
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
18. 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
19. 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.
20. Adams M.C., Turkington T.G., Wilson J.M., Wong T.Z. A systematic review of the factors affecting accuracy of SUV measurements. *AJR Am J Roentgenol.* 2010; 195 (2): 310–20. DOI:10.2214/AJR.10.4923.
21. Hess S., Hansson S.H., Pedersen K.T., Basu S., Høiland-Carlson P.F. FDG-PET/CT in Infectious and Inflammatory Diseases. *PET Clin.* 2014. DOI: 10.1016/j.cpet.2014.07.002.
22. Saby L., Laas O., Habib G., Cammilleri S., Mancini J., Tes-

sonnier L., et al. Positron emission tomography/computed tomography for diagnosis of prosthetic valve endocarditis: increased valvular 18F-fluorodeoxyglucose uptake as a novel major criterion. *J Am Coll Cardiol.* 2013; 61(23): 2374–82. DOI:10.1016/j.jacc.2013.01.092

23. Fagman E., van Essen M., Freden Lindqvist J., Snygg-Martin U., Bech-Hanssen O., Svensson G. 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of prosthetic valve endocarditis. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2015; 32:679–86. DOI: 10.1007/s10554-015-0814-8

24. Salomäki S.P., Saraste A., Kemppainen J., Bax J.J., Knuuti J., Nuutila P., et al. 18F-FDG positron emission tomogra-

phy/computed tomography in infective endocarditis. *J Nucl Cardiol.* 2017; 24(1): 195–206. DOI: 10.1007/s12350-015-0325-y

25. Memmott M.J., James J., Armstrong I.S., Tout D., Ahmed F. The performance of quantitation methods in the evaluation of cardiac implantable electronic device (CIED) infection: A technical review. *J Nucl Cardiol.* 2016; 23: 1457–1466. DOI: 10.1007/s12350-015-0106-7.

26. Leccisotti L., Perma F., Lago M., Leo M., Stefanelli A., Calcagni M.L., et al. Cardiovascular implantable electronic device infection: delayed vs standard FDG PET-CT imaging. *J Nucl Cardiol.* 2014; 21: 622–32. DOI: 10.1007/s12350-014-9896-2.

References:

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

2. 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).

3. 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.

4. Gomes A., Glaudemans A.W.J.M., Touw D.J., van Melle J.P., Willems T.P., Maas A. H. et al. Diagnostic value of imaging in infective endocarditis: a systematic review. *Lancet Infect Dis* 2017; 17(1): e1–14. DOI: 10.1016/S1473-3099(16)30141-4

5. Erba A.P., Pizzi M.N., Roque A., Salaun E., Lancellotti P., Toranos P., Habib G. Multimodality Imaging in Infective Endocarditis An Imaging Team Within the Endocarditis Team. *Circulation.* 2019; 140: 1753–1765. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.040228

6. 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.

7. 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

8. Aslanidi I.P., Manukova V.A., Mukhortova O.V., et al. Pozitronno-emissionnaya tomografiya s 18F-FDG v otsenke effektivnosti lecheniya gigantokletochnogo arteriita i arteriita Takayasu. *Bulletin NTSSSH them. A.N. Bakuleva RAMS Cardiovascular diseases.* 2017; 18 (4): 380–90 DOI:10.24022/1810-0694-2017-18-4-380-390 (in Russian).

9. Mahmood M., Kendi A.T., Ajmal S., Farid S., O'Horo J.C., Chareonthaitawee P., et al. Meta-analysis of 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of infective endocarditis. *J Nucl Cardiol.* 2017. DOI: 10.1007/s12350-017-1092-8. [Epub ahead of print]

10. Bokeria L.A., Aslanidi I.P., Shuruprova I.V., Granov A.M., Tyutin L.A., Ryzhkova D.V., Derevyanko E.P., Katunina T.A.,

Ekaeva I.V., Rogova T.V. Positron emission tomography in cardiology and cardiovascular surgery. Moscow, National Scientific and Practical Center for Cardiovascular Surgery named after A.N. Bakuleva. 2010, 236 p. (in Russian).

11. Bokeria L.A., Aslanidi I.P., Shuruprova I.V., Granov A.M., Tyutin L.A., Ryzhkova D.V., Derevyanko E.P., Katunina T.A., Ekaeva I.V., Rogova T.V. Positron emission tomography in cardiology and cardiovascular surgery. Moscow, National Scientific and Practical Center for Cardiovascular Surgery named after A.N. Bakuleva. 2010, 236 p. (in Russian).

12. Pizzi M.N., L. Dos-Subira, Roque A., Fernandez-Hidalgo N., Cuellar-Calabria H., Ferreira-Gonzalez I., Domenech A.P., et al. 18F-FDG-PET/CT-angiography in the diagnosis of infective endocarditis in and cardiac device infection in adult patients with congenital heart disease and prosthetic material. *Int J Cardiol.* 2017; 248: 396-402. doi: 10.1016/j.ijcard.2017.08.008.

13. Pizzi M.N., Roque A., Fernandez-Hidalgo N., Cuellar-Calabria H., Ferreira-Gonzalez I., Gonzalez-Alujas M.T., et al. Improving the diagnosis of infective endocarditis in prosthetic valves and intracardiac devices with 18F-FDG-PET/CT-angiography: initial results at an infective endocarditis referral center. *Circulation.* 2015; 132 (12): 1113–26. DOI:10.1161/circulationaha.115.015316

14. Graziosi M., Nanni C., Lorenzini M., Diemberger I., Bonfiglioli R., Pasquale F., et al. Role of ¹⁸F-FDG PET/CT in the diagnosis of infective endocarditis in patients with an implanted cardiac device: a prospective study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2014; 41 (8): 1617–23. DOI:10.1007/s00259-014-2773-z.

15. Orvin K., Goldber E., Bernstine H., Groshar D3, Sagie A4, Kornowski R, et al. The role of FDG-PET/CT imaging in early detection of extracardiac complications of infective endocarditis. *Clin Microbiol Infect.* 2015; 21: 69–76. DOI: 10.1016/j.cmi.2014.08.012.

16. 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

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

18. 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 implant-

- able electronic device infection: comparison of different interpretation criteria. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2016; 43: 2401–12
19. 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.
20. Adams M.C., Turkington T.G., Wilson J.M., Wong T.Z. A systematic review of the factors affecting accuracy of SUV measurements. *AJR Am J Roentgenol*. 2010; 195 (2): 310–20. DOI:10.2214/AJR.10.4923.
21. Hess S., Hansson S.H., Pedersen K.T., Basu S., Høiland-Carlsen P.F. FDG-PET/CT in Infectious and Inflammatory Diseases. *PET Clin*. 2014. DOI: 10.1016/j.cpet.2014.07.002.
22. Saby L., Laas O., Habib G., Cammilleri S., Mancini J., Tessonnier L., et al. Positron emission tomography/computed tomography for diagnosis of prosthetic valve endocarditis: increased valvular 18F-fluorodeoxyglucose uptake as a novel major criterion. *J Am Coll Cardiol*. 2013; 61(23): 2374–82. DOI:10.1016/j.jacc.2013.01.092
23. Fagman E., van Essen M., Freden Lindqvist J., Snygg-Martin U., Bech-Hanssen O., Svensson G. 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of prosthetic valve endocarditis. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2015; 32: 679–86. DOI: 10.1007/s10554-015-0814-8
24. Salomäki S.P., Saraste A., Kemppainen J., Bax J.J., Knuuti J., Nuutila P., et al. 18F-FDG positron emission tomography/computed tomography in infective endocarditis. *J Nucl Cardiol*. 2017; 24(1): 195–206. DOI: 10.1007/s12350-015-0325-y
25. Memmott M.J., James J., Armstrong I.S., Tout D., Ahmed F. The performance of quantitation methods in the evaluation of cardiac implantable electronic device (CIED) infection: A technical review. *J Nucl Cardiol*. 2016; 23: 1457–1466. DOI: 10.1007/s12350-015-0106-7.
26. Leccisotti L., Perma F., Lago M., Leo M., Stefanelli A., Calcagni M.L., et al. Cardiovascular implantable electronic device infection: delayed vs standard FDG PET-CT imaging. *J Nucl Cardiol*. 2014; 21: 622–32. DOI: 10.1007/s12350-014-9896-2.