НАУЧНЫЙ ОБЗОР

ОДНОФОТОННАЯ ЭМИССИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРФУЗИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ХИРУРГИИ СЕРДЦА И СОСУДОВ

Короткевич А.А., Семенов С.Е., Трубникова О.А.

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний».
г. Кемерово, Россия.

Представленный обзор литературы посвящен вопросам радионуклидной диагностики перфузии головного мозга при оперативных вмешательствах на сердечно-сосудистой системе. Коротко отражены основные радифармпрепараты, применяющиеся для методики ОФЭКТ, и затронуты вопросы интерпретации данных, показаны возможности методики на примере опыта исследователей при различных хирургических вмешательствах. Установлено, что сцинтиграфическое исследование головного мозга обладает высокой информативностью в выявлении нарушений перфузии, способно помочь в выборе хирургической тактики и персонализировать подход к лечению пациентов, и тем самым минимизировать вред здоровью. Данные ОФЭКТ расширяют возможности в изучении влияния периоперационных факторов на состояние головного мозга и когнитивных функций. Поиск литературы был выполнен с помощью электронных баз данных PubMed, Google Shcolar, E-library.

Ключевые слова: ОФЭКТ, рМК, сердечно-сосудистая хирургия.

Контактный автор: Короткевич А.А., e-mail: koroaa@kemcardio.ru

Для цитирования: Короткевич А.А., Семенов С.Е., Трубникова О.А. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография в диагностике изменений перфузии головного мозга в хирургии сердца и сосудов. REJR 2023; 13(2):98-108. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-2-98-108.

Статья получена: 09.03.23 Статья принята: 22.03.23

SINGLE-PHOTON EMISSION COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF CEREBRAL PERFUSION CHANGES IN CARDIAC AND VASCULAR SURGERY

Korotkevich A.A., Semenov S.E., Trubnikova O.A.

Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases. Kemerovo, Russia.

The presented literature review is devoted to the issues of radionuclide diagnosis of brain perfusion during surgical interventions on the cardiovascular system. The main radiopharmaceuticals used for the SPECT technique are briefly reflected and the issues of data interpretation are raised, the possibilities of the technique are shown on the example of the experience of researchers in various surgical interventions. It has been established that brain scintigraphy is highly informative in detecting perfusion disorders, can help in the choice of surgical tactics and personalize the approach to the patient's treatment and thereby minimize harm to health. SPECT data expand the possibilities in studying the influence of perioperative factors on the state of the brain and cognitive functions. Literature search was performed using electronic databases PubMed, Google Shcolar, E-library.

Keywords: SPECT, CBF, cardiovascular surgery.

Corresponding author: Korotkevich A.A., e-mail: koroaa@kemcardio.ru

For citation: Korotkevich A.A., Semenov S.E., Trubnikova O.A. Single-photon emission computed tomography in the diagnosis of cerebral perfusion changes in cardiac and vascular surgery. REJR 2023; 13(2):98-108. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-2-98-108.

Received: **09.03.23** **Accepted:** **22.03.23**

Последние десятилетия ознаменовались быстрым технологическим ростом, что не могло не сказаться на развитии медицинской отрасли. Совершенствование диагностической и лечебной аппаратуры, медикаментов, подходов к лечению – все это неизбежно ведет к увеличению продолжительности жизни, что, несомненно, является положительным фактом, однако привносит и некоторые сложные моменты. Так, с возрастом отмечается прогрессирование имеющихся заболеваний, что может быть одним из факторов роста частоты сердечно-сосудистых заболеваний в последние годы, а также усугубление коморбидного фона, что ведет к увеличению риска при оперативных вмешательствах. Неотъемлемым компонентом большинства операций на сердце является искусственное кровообращение (ИК), однако ряд сопровождающих его факторов несет значимую угрозу для органов и систем пациента, в том числе риск развития неврологических послеоперационных осложнений. В решении этой проблемы бесспорно большую роль играют различные методы нейровизуализации, в том числе методы ядерной диагностики, которые дают ценную информацию для клинических специалистов о состоянии структуры и функции головного мозга, что позволяет производить профилактику осложнений, своевременно выявлять и осуществлять терапию возникающей патологии. В современных публикациях отдельные авторы указывают на необходимость не только проведения дооперационного нейропсихологического тестирования с целью определения базового уровня когнитивных функций, но и сопоставления полученных результатов с данными нейрофизиологических и нейровизуализационных методов диагностики [1].

Ядерная визуализация определяется как функциональная или молекулярная нейровизуализация, ее главное отличие от других методов в том, что она фокусируется на физиологических процессах, а не на анатомии [2]. В то же время гибридная визуализация в форме ПЭТ/компьютерной томографии (ПЭТ/КТ) и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии-КТ (ОФЭКТ/КТ) уникальна в своей способности одновременно предоставлять как функциональную, так и анатомическую информацию [3]. При помощи ПЭТ были изучены многочисленные вопросы, затрагивающие нормальную и патологическую функции головного мозга. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) зачастую способна получить ту же диагностическую информацию, что и ПЭТ, однако является менее дорогостоящей и более доступной альтернативой. Данные, которые раскрываются методом ОФЭКТ, несут важную для клиницистов информацию о метаболической активности клеток, перфузии мозговой ткани, экспрессии рецепторов и др. Также ОФЭКТ позволяет проводить топическую оценку состояния микроциркуляции, регионарного мозгового кровотока (рМК) и функционального резерва цереброваскулярного русла. КТ в гибридных обследованиях выполняет двойную функцию: это сопоставление анатомической картины с зонами нарушенной функциональной активности, а также коррекция затухания, позволяющая сделать поправки на ослабление излучения для структур, расположенных на разной глубине. За последние десятилетия ОФЭКТ головного мозга создала прочную доказательную базу и в настоящее время рекомендуется профессиональными сообществами для многочисленных показаний [4]. ОФЭКТ головного мозга на сегодняшний день широко используется для диагностики цереброваскулярных заболеваний, для оценки пациентов с подозрением на деменцию, для локализации эпилептических очагов, для определения прогноза у больных с хроническими нарушениями кровообращения, выбора тактики лечения и осуществления контроля эффективности проводимой терапии, для оценки смерти мозга [5]. В то же время, по мнению ряда авторов, стоит помнить, что любой метод нейровизуализации, в том числе ОФЭКТ головного мозга, всегда должен применяться в сочетании с клинической оценкой, поскольку отдельно взятые диагностические данные все же несут только дополнительное второстепенное значение по отношению к клинической картине [4].

ОФЭКТ отражает распределение в ткани головного мозга нейроспецифических ра-

диофармацевтических препаратов (РФП), связанных с радиоизотопами, пропорционально мозговому кровотоку [6]. Первыми применявшимися индикаторами были диффундирующие молекулы, накопление которых зависело от поступления в головной мозг через артериальную систему (церебральная перфузия) и от градиента концентрации между артериальной кровью и тканью головного мозга. Несколько позже были разработаны индикаторы, отражающие статическое накопление в ГМ (IMP, HIPDM, HMPAO и ECD). Эти радиофармпрепараты вводятся в периферическую венозную систему, извлекаются мозгом при первоначальном прохождении по артериальному руслу и сохраняются пропорционально распределению мозгового кровотока. Они достаточно стабильны in vivo, что позволяет получать изображения в течение определенного периода времени после инъекции. Наиболее широко используемыми статическими РФП являются 99mTc-ECD (этилцистеинат-димер) и 99mTc-HMPAO (гексаметилпропиленаминоксим). Эти препараты обладают свойством свободной диффузии через гематоэнцефалический барьер за счет липофильности, также при первом прохождении через мозговое кровообращение после внутривенного введения отмечается их высокая экстракция из кровеносного русла [7].

Визуальная оценка данных ОФЭКТ/КТ по-прежнему является наиболее распространенным методом анализа, однако для полноценного клинического применения требуется получение количественных параметров. Как правило, накопление радиофармпрепарата в головном мозге в норме характеризуется симметричным захватом в обоих полушариях. Серое вещество более интенсивно накапливает РФП по сравнению с белым веществом. Соотношение накопления серым и белым веществом составляет приблизительно 4:1. На эту общую картину распределения РФП могут влиять различные стимулы (зрительные, слуховые и соматосенсорные) окружающей среды, что требует соблюдение определенных условий в момент введения индикатора. Патологические изменения при ОФЭКТ головного мозга при визуальной оценке проявляются в виде неоднородного распределения РФП. Снижение накопления индикатора может говорить об ишемических изменениях, области с полным отсутствием накопления РФП могут наблюдаться при инфаркте мозга, а зоны с повышенным захватом РФП могут говорить о послеоперационной гиперперфузии или наблюдаться в очагах с повышенной активностью при эпилептических припадках. Важно помнить, что эти изменения рМК неспецифичны [8]. Проблема визуальной оценки кроется в высокой вариабельности интерпретации данных между исследователями, находится в сильной зависимости от опыта специалиста. В последнее время, совершенствование технологий и программного обеспечения позволяют методу ОФЭКТ становиться более эффективным инструментом в изучении перфузии головного мозга. Современное программное обеспечение позволяет осуществить количественный анализ изображений, получить данные в виде трехмерного анатомотопографического представления с цветовой индикацией зон с нарушением перфузии. По мнению ряда авторов, применение ОФЭКТ ГМ актуально в клиническом ведении больных при динамическом контроле до и после оперативных вмешательств. Анализ на основе вокселей использует статистические методы для определения различий между группами, может использоваться в клинической практике для определения статистического отклонения изображений отдельного субъекта от базы данных нормальных значений. Как альтернатива используется полуколичественный метод (рис. 1) сравнения уровня накопления РФП в области интереса с референсной зоной с сохраненным кровотоком (например, мост, мозжечок или весь мозг) [7]. Также следует отметить важность выбора формата предоставления данных. Необходимо использовать современное программное обеспечение, которое способно обеспечить визуально доступную и понятную для клиницистов и пациентов информацию, в том числе 3D-картину с обозначенными изменениями.

Исследования перфузии головного мозга методом однофотонной эмиссионной томографии в сочетании с компьютерной томографией могут стать оптимальным решением для клинического ведения пациентов с сосудистой патологией, в частности при болезни Мойя-Мойя, особенно когда функциональные нарушения превалируют над изменениями структуры головного мозга. Данные комбинированного исследования обладают рядом достоинств, благодаря сочетанию функциональной информации и данных анатомической структуры. Болезнь Мойя-Мойя представляет собой прогрессирующее цереброваскулярное заболевание, характеризующееся сужением просвета или окклюзией дистальных отделов внутренней сонной артерии (ВСА) и развитием коллатеральных сосудов. Стеноз и окклюзия ВСА приводят к

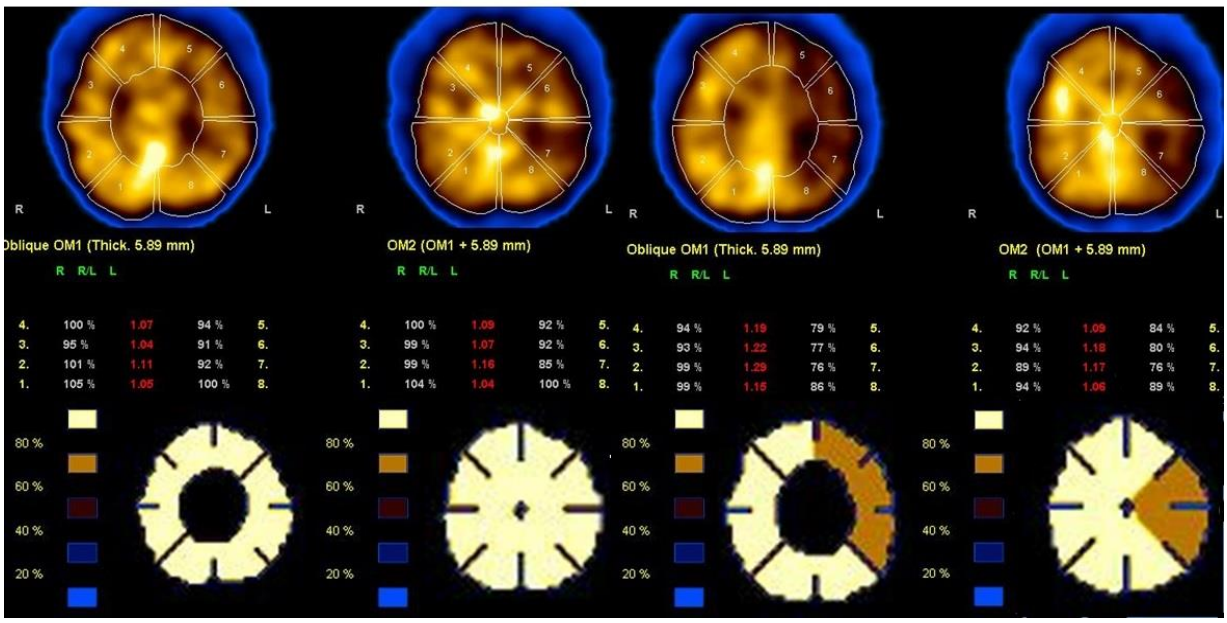

Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. ОФЭКТ, аксиальные срезы головного мозга.

Полуколичественный метод оценки рМК. Снижение значений рМК в послеоперационном периоде.

Fig. 1. SPECT, brain, axial slices.

Semi-quantitative method for assessing CBF. Decrease in CBF in the postoperative period.

снижению рМК, что сопровождается симптоматикой ишемии и способствует появлению коллатеральных ломких сосудов. В работе Lou J. и соавт. было проведено обследование 72 пациентов с болезнью Мойя-Мойя до и после оперативного вмешательства. Авторы подчеркивают, что количественная оценка ОФЭКТ/КТ с использованием программного обеспечения NeuroGam дает объективную оценку церебральной перфузии пораженной коры и мозжечковых ганглиев. Применение данного программного обеспечения позволяет выявить зону головного мозга с нарушенной перфузией на более раннем этапе посредством количественного сравнения. Средства анализа программного обеспечения NeuroGam диагностируют перфузию головного мозга путем автоматического сравнения с шаблоном стандартизации головного мозга. Авторы отмечают, что таким образом, не имея глубоких знаний в интерпретации данных ядерной медицины, можно получить общее представление об аномальных областях перфузии. В предоперационном периоде методом ОФЭКТ ими было выявлено снижение перфузии у всех пациентов, в то время как изменения на КТ и МРТ практически в половине случаев отсутствовали. В послеоперационном периоде у большинства отмечалось увеличение показателей перфузии в передних отделах полушария на стороне хирургического вмешательства, особенно в лобных, теменных, височных долях, при этом у обследуемых наблюдалось ухудшение или отсутствовали изменения перфузии в задних отделах головного мозга и базальных ганглиях, преимущественно в затылочной доле, мозжечке, таламусе и хвостатом ядре. Авторы подчеркивают, что применение специализированного программного обеспечения для анализа позволяет обнаружить изменения перфузии по данным ОФЭКТ, которыми пренебрегают при обычной визуальной оценке [9].

Методика ОФЭКТ предоставляет ценную информацию и перед реваскуляризацией при данной патологии. Так в работе Liming Z. и соавт. на 40 пациентах с помощью ОФЭКТ продемонстрировали, что мозговой кровоток у пациентов с болезнью Мойя-Мойя обладает чувствительностью к небольшим изменениям артериального давления [10]. В работе Arai N. и соавт. были обследованы 85 человек, использование ОФЭКТ

позволило обнаружить, что высокие значения распределения гемодинамического напряжения являются предикторами развития симптомов ишемии у пациентов с болезнью Мойя-Мойя [11].

Показание к реваскуляризации сонных артерий в основном определяется степенью сужения сосуда, наличием клинической симптоматики. В тоже время исследователи указывают на важность полноценной периоперационной оценки состояния не только сонных артерий, но и церебральной гемодинамики. ОФЭКТ головного мозга проявила себя как чувствительный метод для определения на дооперационном этапе пациентов с риском развития гиперперфузии и для диагностики церебрального гиперперфузионного синдрома после каротидной эндартерэктомии (КЭА). Так в работах Ogasawara Y. и соавт. показано, что метод ОФЭКТ превосходит транскраниальную допплерографию при наличии окклюзии или гемодинамически значимого стеноза ипсилатеральной СМА в выявлении церебральной гиперперфузии после КЭА [12], а в другой работе продемонстрирована возможность при помощи ОФЭКТ идентифицировать пациентов с риском церебральной гиперперфузии после КЭА [13]. В работе Сергуладзе Т.Н. и соавт. отмечается высокая информативность метода ОФЭКТ в диагностике нарушений перфузии у 38 пациентов с критическими стенозами сонных артерий. Метод позволяет не только определить асимметрию распределения РФП и снижение перфузии в бассейне пораженной артерии на дооперационном этапе, но также полноценно раскрывает характер изменений показателей рМК в послеоперационном периоде в виде увеличения показателей перфузии и цереброваскулярного резерва [14]. В работе Sadato A. и соавт. представлены данные анализа ОФЭКТ головного мозга у пациентов после стентирования сонных артерий, выявлено значимое увеличение показателей перфузии, причем не только на стороне вмешательства, но и в контрлатеральном полушарии [15]. Также встречаются работы с использованием ОФЭКТ, где отмечается, что нарушение церебральной гемодинамики у пациентов с бессимптомным стенозом сонных артерий ведет к увеличению риска развития инфаркта головного мозга [16].

Одним из наиболее распространенных и интересных направлений применения ОФЭКТ является оценка резерва перфузии головного мозга. Работы с подобной тематикой обычно затрагивают пациентов с гемодинамически значимыми стенозами и окклюзиями сонных артерий, они отражают степень нарушения перфузии головного мозга и то, как это влияет на выбор адекватной хирургической тактики лечения, особенно у пациентов с предстоящими серьезными хирургическими вмешательствами в другой локализации, например, перед коронарным шунтированием и симультанными операциями на сердце и сосудах [17]. При подозрении на значимое атеросклеротическое поражение сонных артерий по данным УЗИ, КТ или МРТ необходима функциональная оценка, и одним из наиболее информативных диагностических методов, применяемых в качестве функционального теста оценки мозгового кровообращения, является ОФЭКТ. Согласно ряду исследований, данная методика, особенно с использованием ацетазоламида, способна адекватно выявлять нарушения гемодинамики [18]. Так, в ряде работ, представлены данные, что предоперационное измерение рМК с помощью ацетазоламида в дополнение к ОФЭКТ головного мозга в состоянии покоя позволяет выявить пациентов с риском развития гиперперфузии после каротидной эндартерэктомии [19], а также может предсказать развитие ишемических изменений у пациентов со стенозом и окклюзией сонных артерий [20]. Методика проведения исследования предполагает получение данных в состоянии покоя и на фоне введения фармакологических агентов, в качестве которых зачастую используют инъекцию ацетазоламида или ингаляцию CO2, или применение альтернативных физиологических стимулов (задержка дыхания и др.). Проба с ацетазоламидом основана на феномене внутримозгового обкрадывания, т.е. на фоне введения препарата отмечается увеличение перфузии в областях с сохраненным церебральным перфузионным резервом, тогда как в областях со сниженным резервом показатели перфузии либо снижаются, либо остаются на прежнем уровне. Нарушение перфузионного резерва головного мозга диагностируют при снижении рМК менее 80% от нормального мозгового кровотока и при снижении регионарной мозговой реактивности (менее 10% регионарной мозговой реактивности) [21]. У пациентов с нарушением перфузии чрезмерное падение артериального давления и системные гемодинамические нарушения могут привести к гемодинамическому ишемическому инсульту. С одной стороны, количественная оценка с помощью ОФЭКТ перфузии головного мозга с ацетазоламидом очень полезна для оценки риска у пациентов с гемодинамически значимым атеросклеротическим поражением сонных

артерий, с другой стороны – в литературе встречаются противоречивые взгляды на актуальность метода, поскольку ишемические изменения головного мозга на фоне стеноза артерий, снабжающих мозг, вероятно, в основном имеют эмболическое, а не гемодинамическое происхождение [22]. Тем не менее, полученные данные по перфузии могут учитываться как один из дополнительных факторов при выборе хирургической тактики, операция на открытом сердце считается приемлемой при условии сохранения соответствующего гемодинамического статуса [23]. В случае оценки перфузионного резерва ниже безопасных значений, возможно применение таких профилактических краниоцервикальных вмешательств, как стентирование сонных артерий, каротидная эндартерэктомия и шунтирование поверхностной височной артерии в среднюю мозговую артерию [24].

Прямая реваскуляризация миокарда (коронарное шунтирование) является одним из наиболее распространенных видов кардиохирургических вмешательств и, по существу, методом выбора при неэффективности консервативного и эндоваскулярного лечения ишемической болезни сердца (ИБС). Нарушение церебральной перфузии, по некоторым данным, может выступать одним из ведущих механизмов нейропсихологических изменений после оперативного вмешательства с применением ИК. Для неинвазивной оценки регионарного мозгового кровотока успешно используются радионуклидные методы исследования, среди которых наиболее популярной на сегодня является ОФЭКТ. В работах Чернова и соавт. изучалось состояние регионарного мозгового кровотока головного мозга и когнитивного статуса у 22 пациентов, подвергшихся КШ, авторы отмечают, что ОФЭКТ с 99mTc-ГМПАО показала себя как информативный и чувствительный метод в оценке рМК после КШ, а анализ данных исследований в динамике выявил, что методика может быть использована для прогностической оценки сохранения нейрокогнитивного дефицита в отдаленном периоде оперативного вмешательства [25]. Исследователями было выявлено не только значимое снижение мозгового кровотока в послеоперационном периоде в лобной и теменной долях правого полушария, но и соответствующая изменениям перфузии динамика когнитивного статуса. С помощью данных ОФЭКТ авторы установили, что нарушения когнитивных функций у таких пациентов являются прямым следствием снижения церебральной перфузии во время кардиохирургических операций с использованием ИК [26].

В работе Hall R.A. и соавт. было обследовано 35 пациентов, прошедших КШ. Нейропсихологическое тестирование в послеоперационном периоде выявило нарушение когнитивных функций у 40%, причем проведенное исследование ОФЭКТ головного мозга у всех эти пациентов выявило как нарушение рМК на дооперационном этапе, так и снижение во время операции. Авторы делают вывод, что выявление пациентов с исходно сниженными показателями перфузии по данным ОФЭКТ на дооперационном этапе позволяет прогнозировать риск развития когнитивных нарушений после операции [27].

В нашем центре, НИИ КПССЗ, был проведен анализ данных перфузии головного мозга у 34 пациентов в до- и послеоперационном периоде, которым выполнялась хирургическая коррекция в виде симультанного вмешательства на коронарных и сонных артериях и шунтирования коронарных артерий. Метод ОФЭКТ показал себя эффективным и чувствительным инструментом в оценке динамики показателей рМК (рис. 2), были выявлены значимые изменения перфузии в отдельных областях, полученные данные исследования позволили изучить и сравнить изменения в группах с разными типами оперативных вмешательств в условиях ИК [28].

Данные ОФЭКТ открыли возможность оценить влияние отдельных факторов, оказывающих воздействие на состояние головного мозга в ходе оперативного вмешательства. Так, были выявлены значимые обратные связи между уровнем перфузии отдельных областей головного мозга и длительностью ИК, а также временем пережатия аорты, прямая связь с временем пережатия сонных артерий [29]. Также, на наш взгляд, определенный интерес представляют данные о выявленной значимой связи показателей рМК по данным ОФЭКТ и эхокардиографическими показателями функции левого желудочка, так как это в некоторой степени отражает системное снижение перфузии [30].

Встречаются отдельные работы с исследованиями пациентов с пороками сердца. Так в работах Бокерии Л.А. и соавт. отмечается, что ОФЭКТ занимает одну из ведущих позиций среди методов неинвазивной оценки и динамического контроля состояния перфузии головного мозга у пациентов кардиохирургического профиля, в том числе с пороками сердца. Авторами был проведен анализ исследований ОФЭКТ у 30 пациентов

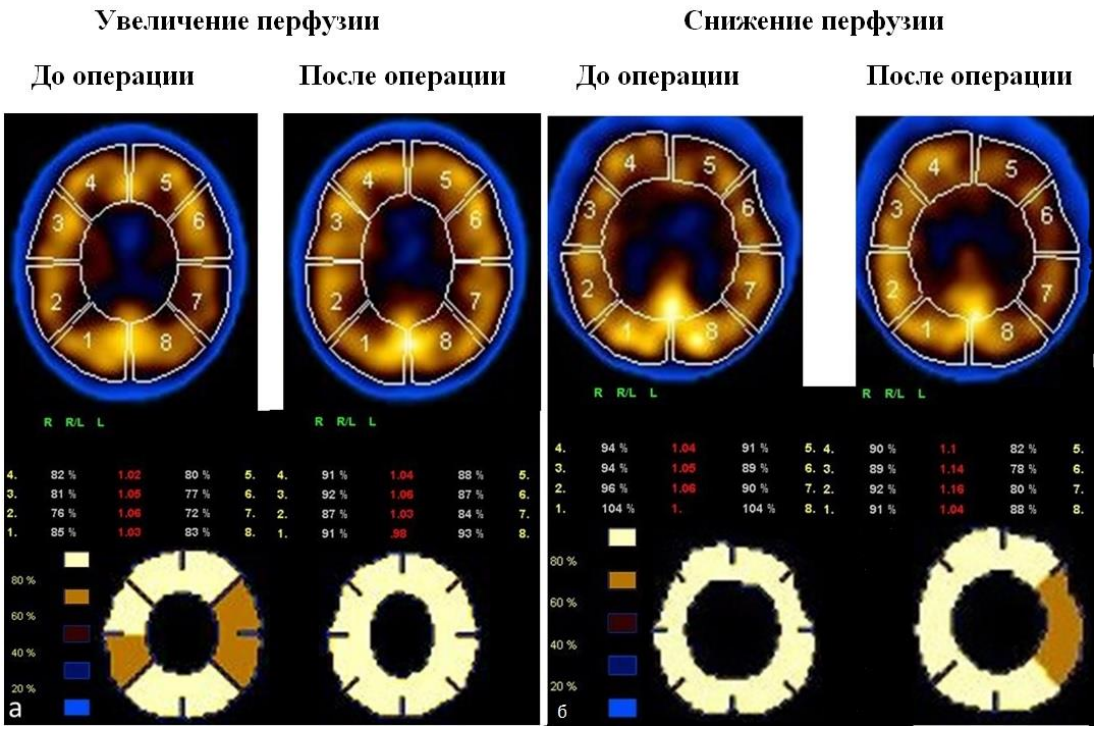

Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. ОФЭКТ, аксиальные срезы головного мозга.

Динамика показателей рМК: а – увеличение значений рМК в послеоперационном периоде, б – снижение значений рМК в послеоперационном периоде.

Fig. 2. SPECT, brain, axial slices.

Dynamics of CBF: a – increase in CBF in the postoperative period, b – decrease in CBF in the postoperative period.

с приобретенными пороками сердца, который показал, что хирургическая коррекция изолированных клапанных пороков способствует улучшению гемодинамики и нормализации цереброваскулярного резерва, а снижение ЦВР может быть проявлением микроэмболии сосудов головного мозга [31].

В своей работе Takeuchi M. и соавт. проанализировали показатели рМК, полученные методом ОФЭКТ у 50 пациентов, подвергшихся транскатетерной имплантации аортального клапана (TAVI), и продемонстрировали, что снижение рМК в островковой доле в дооперационном периоде является полезным предиктором развития послеоперационного делирия у пациентов с тяжелым аортальным стенозом. Подобные данные представляют большой интерес, так как аортальный стеноз является наиболее частым клапанным пороком сердца у пожилых людей во всем мире, а для пожилых пациентов с множественной сопутствующей патологией и высоким риском транскатетерная имплантация аортального клапана может рассматриваться как предпочтительный минимально инвазивный метод лечения [32]. В работе Tsuchiya S. и соавт. проведена оценка динамики когнитивного статуса, фракции выброса и показателей рМК, полученных методом ОФЭКТ, после процедуры TAVI. Авторы отмечают значимое улучшение показателей когнитивных функций и значений рМК в локальных областях, а также акцентируют внимание на положительной корреляции между данными показателями [33]. В тоже время встречаются ссылки на данную работу, которые указывают, что, учитывая ограничения данного исследования, его результаты следует интерпретировать с осторожностью [34].

ОФЭКТ головного мозга является уникальной методикой, имеющей потенциал для широкого использования в хирургической практике. Существует ряд областей, в которых ОФЭКТ может предоставить важную информацию, чтобы помочь выбрать хирургическую тактику и персонализировать подход к лечению. Диагностическая ценность

метода проявляется не только в непосредственной оценке состояния перфузии головного мозга перед оперативными вмешательствами, но также в выявлении влияния различных периоперационных факторов на состояние рМК, в количественной оценке перфузии в отдаленном периоде после операции, в возможности соотнести данные диагностических исследований и нейропсихологического тестирования. В то же время стоит помнить, что метод ОФЭКТ имеет только дополнительное диагностическое значение и должен сопоставляться с клинической картиной, что может существенно повысить точность диагностики.

Источник финансирования и конфликт интересов.

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

Список литературы:

1. Алексеева Т.М., Портик О.А. Особенности диагностики послеоперационной когнитивной дисфункции у пациентов после кардиохирургических вмешательств (обзор литературы). Consilium Medicum. 2018; 20 (10): 86-90. DOI: 10.26442/2075-1753_2018.10.86-90

2. Meerwaldt R., Slart R.H., van Dam G.M., Luijckx G.J., Tio R.A., Zeebregts C.J. PET/SPECT imaging: from carotid vulnerability to brain viability. European journal of radiology. 2010; 74 (1): 104-109. DOI: 10.1016/j.ejrad.2009.01.034

3. Sharma P., Sharma S., Ballal S., Bal C., Malhotra A., Kumar R. SPECT-CT in routine clinical practice: increase in patient radiation dose compared with SPECT alone. Nuclear Medicine Communications. 2012; 33 (9): 926-932. DOI: 10.1097/MNM.0b013e328355b6d5

4. Amen D.G., Trujillo M., Newberg A., Willeumier K., Tarzwell R., Wu J.C. et al. Brain SPECT Imaging in Complex Psychiatric Cases: An Evidence-Based, Underutilized Tool. Open Neuroimag J. 2011; 5: 40-8. DOI: 10.2174/1874440001105010040

5. Сергуладзе Т.Н., Асланиди И.П. Клиническая значимость однофотонной эмиссионной компьютерной томографии головного мозга. Клиническая физиология кровообращения. 2012; 2: 22-29.

6. Семенов С.Е., Хромов А.А., Портнов Ю.М., Нестеровский А.В. Исследование перфузии при нарушениях церебрального кровообращения. Часть I (история, основные постулаты и методы изучения). Обзор. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2016; 5 (1): 95-102. DOI: 10.17802/2306-1278-2016-1-95-102

7. Ferrando R., Damian A. Brain SPECT as a biomarker of neurodegeneration in dementia in the era of molecular imaging: still a valid option? Frontiers in Neurology. 2021; 12: 629442. DOI: 10.3389/fneur.2021.629442

8. Morano G.N., Seibyl J.P. Technical overview of brain SPECT imaging: improving acquisition and processing of data. Journal of nuclear medicine technology. 2003; 31 (4): 191-195.

9. Lou J., Liu Z., Xu B., Wang Y.K., Liu C.J., Liu M. et al. Evaluation of 99mTC-ECD SPECT/CT brain Imaging with NeuroGam analysis in Moyamoya disease after surgical revascularization. Medicine (Baltimore). 2019; 98 (46): e16525. DOI: 10.1097/MD.0000000000016525

10. Liming Z., Weiliang S., Jia J., Hao L., Yang L., Ludtka C. et al. Impact of blood pressure changes in cerebral blood perfusion of patients with ischemic Moyamoya disease evaluated by SPECT. Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism. 2021; 41 (6): 1472-1480. DOI: 10.1177/0271678X20967458

11. Arai N., Horiguchi T., Takahashi S., Nakahara T., Akiyama T., Jinzaki M. et al. Hemodynamic stress distribution identified by SPECT reflects ischemic symptoms of Moyamoya disease patients. Neurosurg Rev. 2020; 43: 1323-1329. DOI: 10.1007/s10143-019-01145-w

12. Farooq M.U., Goshgarian C., Min J., Gorelick P.B. Pathophysiology and management of reperfusion injury and hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy and carotid artery stenting. Experimental & translational stroke medicine. 2016; 8 (1): 7. DOI: 10.1186/s13231-016-0021-2

13. Ogasawara Y., Ogasawara K., Suzuki T., Yamashita T., Kuroda H., Chida, K. et al. Preoperative 123I-iomazenil SPECT imaging predicts cerebral hyperperfusion following endarterectomy for unilateral cervical internal carotid artery stenosis. American Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2012; 2 (1): 77-87.

14. Сергуладзе Т.Н., Бокерия Л.А., Асланиди И.П., Дарвиш Н.А., Трифонов Т.А., Качеишвили М.Ю. Комплексная функциональная оценка мозгового кровотока при ишемических поражениях головного мозга. Бюллетень НЦССХ им. АН Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. 2012; 13 (S6): 130.

15. Sadato A., Maeda S., Hayakawa M., Adachi K., Toyama H., Nakahara I. et al. Carotid stenting for unilateral stenosis can increase contralateral hemispheric cerebral blood flow. Journal of NeuroInterventional Surgery. 2018; 10 (4): 351-354. DOI: 10.1136/neurintsurg-2017-013193

16. Hosoda K. The Significance of Cerebral Hemodynamics Imaging in Carotid Endarterectomy: A Brief Review. Neurol Med Chir (Tokyo). 2015; 55 (10): 782-788. DOI: 10.2176/nmc.ra.2015-0090

17. Кузнецов М.С., Козлов Б.Н., Насрашвили Г.Г., Панфилов Д.С., Плотников М.П., Андриянова А.В. и др. Анализ результатов хирургического лечения сочетанного атеросклеротического поражения сонных и коронарных артерий. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2016; 5 (3): 35-42. DOI: 10.17802/2306-1278-2016-3-35-42

18. Tayama E., Mori R., Ueda T., Imasaka K.I., Tomita Y., Morita S. Quantitative evaluation using single-photon emission computed tomography with acetazolamide is reliable for preoperative evaluation before cardiac surgery in severe carotid intracranial artery stenotic and/or occlusive disease: a case report. J Cardiothorac Surg. 2019; 14 (1): 141. DOI: 10.1186/s13019-019-0961-

19. Oshida S., Ogasawara K., Saura H., Yoshida K., Fujiwara S., Kojima D. et al. Does Preoperative Measurement of Cerebral Blood Flow with Acetazolamide Challenge in Addition to Preoperative Measurement of Cerebral Blood Flow at the Resting State Increase the Predictive Accuracy of Development of Cerebral Hyperperfusion after Carotid Endarterectomy? Results from 500 Cases with Brain Perfusion Single-photon Emission Computed Tomography Study. Neurol Med Chir (Tokyo). 2015. 55 (2): 141-148. DOI: 10.2176/nmc.oa.2014-0269

20. Gupta A., Chazen J.L., Hartman M., Delgado D., Anumula N., Shao H. et al. Cerebrovascular reserve and stroke risk in patients with carotid stenosis or occlusion: a systematic review and meta-analysis. Stroke. 2012; 43 (11): 2884-2891. DOI: 10.1161/STROKEAHA.112.663716

21. Imasaka K., Yasaka M., Tayama E., Tomita Y. Obstructive carotid and/or intracranial artery disease rarely affects the incidence of haemodynamic ischemic stroke during cardiac surgery: a study on brain perfusion single-photon emission computed tomography with acetazolamide. Eur J Cardiothorac Surg. 2015; 48 (5): 739-746. DOI: 10.1093/ejcts/ezu502

22. Stoll M., Hamann G.F. Die zerebrovaskuläre Reservekapazität [Cerebrovascular reserve capacity]. Nervenarzt. 2002; 73 (8): 711-718. DOI: 10.1007/s00115-002-1313-4

23. Tsuda K., Shiiya N., Washiyama N., Yamashita K., Ohkura K., Takahashi D. et al. Carotid stenosis with impaired brain flow reserve is associated with an increased risk of stroke in on-pump cardiovascular surgery. Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery. 2018; 27 (1): 75-80. DOI: 10.1093/icvts/ivy049

24. Kawabori M., Kuroda S., Terasaka S., Nakayama N., Matsui Y., Kubota S. et al. Therapeutic Strategies for Patients with Internal Carotid or Middle Cerebral Artery Occlusion Complicated by Severe Coronary Artery Disease. World Neurosurgery. 2010; 73 (4): 345-350. DOI: 10.1016/j.wneu.2010.01.026

25. Чернов В.И., Ефимова Н.Ю., Ефимова И.Ю., Ахмедов Ш.Д., Лишманов Ю.Б. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография с 99mTc-ГМПАО в оценке механизмов и прогнозе церебральных осложнений коронарного шунтирования. Клиническая физиология кровообращения. 2007; 3: 77-81.

26. Ефимова Н.Ю., Чернов В.И., Ефимова И.Ю., Ахмедов Ш.Д., Лишманов Ю.Б. Изменение мозгового кровотока и когнитивной функции у больных, перенесших операцию коронарного шунтирования в условиях искусственного кровообращения. Кардиология. 2015; 55 (6): 40-46.

27. Hall R.A., Fordyce D.J., Lee M.E., Eisenberg B., Lee R.F., Holmes 4th J.H. et al. Brain SPECT imaging and neuropsychological testing in coronary artery bypass patients. The Annals of thoracic surgery. 1999; 68 (6): 2082-2088. DOI:10.1016/s0003-4975(99)01213-8

28. Короткевич А.А., Семенов С.Е., Малева О.В., Трубникова О.А. Изменения церебральной перфузии по данным однофотонной эмиссионной компьютерной томографии после аортокоронарного шунтирования и симультанных вмешательств на каротидных и коронарных артериях. Радиология – практика. 2022; (5): 26-38. DOI: 10.52560/2713-0118-2022-5-26-38

29. Короткевич А.А., Семенов С.Е., Малева О.В., Трубникова О.А., Коков А.Н. Топография изменений перфузии головного мозга после симультанных вмешательств на венечных и брахиоцефальных артериях. REJR. 2021; 11 (3): 25-34. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-3-25-34

30. Короткевич А.А., Семенов С.Е., Малева О.В., Трубникова О.А. Некоторые аспекты кардиоцеребральных отношений у хирургических пациентов с мультифокальным атеросклерозом и сердечной недостаточностью. Медицинская визуализация. 2022; 26 (2): 101–112. DOI: 10.24835/1607-0763-1048

31. Бокерия Л.А., Асланиди И.П., Качеишвили М.Ю., Вахромеева М.Н., Рюмина Е.Н., Шурупова И.В. Оценка цереброваскулярного резерва у больных с приобретенными пороками сердца до и после хирургического лечения (по данным однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с 99мТс-НМРАО). Бюллетень НЦССХ им. АН Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. 2004; 5 (5): 294-294.

32. Takeuchi M., Suzuki H., Matsumoto Y., Kikuchi Y., Takanami K., Wagatsuma T. et al. Prediction of the development of delirium after transcatheter aortic valve implantation using preoperative brain perfusion SPECT. PLoS One. 2022; 17 (11): e0276447. DOI: 10.1371/journal.pone.0276447

33. Tsuchiya S., Matsumoto Y., Suzuki H., Takanami K., Kikuchi Y., Takahashi J. et al. Transcatheter aortic valve implantation and cognitive function in elderly patients with severe aortic stenosis. EuroIntervention. 2020; 15: e1580-e1587. DOI: 10.4244/EIJ-D-19-00489

34. Bagur R., Sposato L.A. Cardiocerebral continuum in cognitive function after transcatheter aortic valve implantation. EuroIntervention. 2020; 15 (18): e1555-e1557. DOI: 10.4244/EIJV15I18A283.

References:

1. Alekseeva T.M., Portik O.A. Diagnosic features of postoperative cognitive dysfunction in patients after cardiosurgical interventions (literature review). Consilium Medicum. 2018; 20 (10): 86-90 DOI: 10.26442/2075-1753_2018.10.86-90 (in Russian).

2. Meerwaldt R., Slart R.H., van Dam G.M., Luijckx G.J., Tio R.A., Zeebregts C.J. PET/SPECT imaging: from carotid vulnerability to brain viability. European journal of radiology. 2010; 74 (1): 104-109. DOI: 10.1016/j.ejrad.2009.01.034

3. Sharma P., Sharma S., Ballal S., Bal C., Malhotra A., Kumar R. SPECT-CT in routine clinical practice: increase in patient radiation dose compared with SPECT alone. Nuclear Medicine Communications. 2012; 33 (9): 926-932. DOI: 10.1097/MNM.0b013e328355b6d5

4. Amen D.G., Trujillo M., Newberg A., Willeumier K., Tarzwell R., Wu J.C. et al. Brain SPECT Imaging in Complex Psychiatric Cases: An Evidence-Based, Underutilized Tool. Open Neuroimag J. 2011; 5: 40-8. DOI: 10.2174/1874440001105010040

5. Serguladze T.N., Aslanidi I.P. Clinical significance of single photon emission computed tomography of the brain. Clinical Physiology of Blood Circulaiton. 2012; 2: 22-29 (in Russian).

6. Semenov S.E., Khromov A.A., Portnov Yu.M., Nesterovskiy A.V. The cerebral perfusion of circulation disturbances. Part I (history, the basic postulates and methods of research). Review. Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2016; 5 (1): 95-102 DOI: 10.17802/2306-1278-2016-1-95-102 (in Russian).

7. Ferrando R., Damian A. Brain SPECT as a biomarker of neurodegeneration in dementia in the era of molecular imaging: still a valid option? Frontiers in Neurology. 2021; 12: 629442. DOI: 10.3389/fneur.2021.629442

8. Morano G.N., Seibyl J.P. Technical overview of brain SPECT imaging: improving acquisition and processing of data. Journal of nuclear medicine technology. 2003; 31 (4): 191-195.

9. Lou J., Liu Z., Xu B., Wang Y.K., Liu C.J., Liu M. et al. Evaluation of 99mTC-ECD SPECT/CT brain Imaging with NeuroGam analysis in Moyamoya disease after surgical revascularization. Medicine (Baltimore). 2019; 98 (46): e16525. DOI: 10.1097/MD.0000000000016525

10. Liming Z., Weiliang S., Jia J., Hao L., Yang L., Ludtka C. et al. Impact of blood pressure changes in cerebral blood perfusion of patients with ischemic Moyamoya disease evaluated by SPECT. Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism. 2021; 41 (6): 1472-1480. DOI: 10.1177/0271678X20967458

11. Arai N., Horiguchi T., Takahashi S., Nakahara T., Akiyama T., Jinzaki M. et al. Hemodynamic stress distribution identified by SPECT reflects ischemic symptoms of Moyamoya disease patients. Neurosurg Rev. 2020; 43: 1323-1329. DOI: 10.1007/s10143-019-01145-w

12. Farooq M.U., Goshgarian C., Min J., Gorelick P.B. Pathophysiology and management of reperfusion injury and hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy and carotid artery stenting. Experimental & translational stroke medicine. 2016; 8 (1): 7. DOI: 10.1186/s13231-016-0021-2

13. Ogasawara Y., Ogasawara K., Suzuki T., Yamashita T., Kuroda H., Chida, K. et al. Preoperative 123I-iomazenil SPECT imaging predicts cerebral hyperperfusion following endarterectomy for unilateral cervical internal carotid artery stenosis. American Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2012; 2 (1): 77-87.

14. Serguladze T.N., Bokeriya L.A., Aslanidi I.P., Darvish N.A., Trifonov T.A., Kacheishvili M.Yu. Comprehensive functional assessment of cerebral blood flow in ischemic brain lesions. The Bulletin of Bakoulev Center. Cardiovascular Diseases. 2012; 13 (S6): 130 (in Russian).

15. Sadato A., Maeda S., Hayakawa M., Adachi K., Toyama H., Nakahara I. et al. Carotid stenting for unilateral stenosis can increase contralateral hemispheric cerebral blood flow. Journal of NeuroInterventional Surgery. 2018; 10 (4): 351-354. DOI: 10.1136/neurintsurg-2017-013193

16. Hosoda K. The Significance of Cerebral Hemodynamics Imaging in Carotid Endarterectomy: A Brief Review. Neurol Med Chir (Tokyo). 2015; 55 (10): 782-788. DOI: 10.2176/nmc.ra.2015-0090

17. Kuznetsov M.S., Kozlov B.N., Nasrashvili G.G., Panfilov D.S., Plotnikov M.P., Andiyanova A.V. et al. Analysis of the surgical outcomes of combined atherosclerotic lesions of carotid and coronary arteries. Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2016; 5 (3): 35-42 DOI: 10.17802/2306-1278-2016-3-35-42 (in Russian).

18. Tayama E., Mori R., Ueda T., Imasaka K.I., Tomita Y., Morita S. Quantitative evaluation using single-photon emission computed tomography with acetazolamide is reliable for preoperative evaluation before cardiac surgery in severe carotid intracranial artery stenotic and/or occlusive disease: a case report. J Cardiothorac Surg. 2019; 14 (1): 141. DOI: 10.1186/s13019-019-0961-

19. Oshida S., Ogasawara K., Saura H., Yoshida K., Fujiwara S., Kojima D. et al. Does Preoperative Measurement of Cerebral Blood Flow with Acetazolamide Challenge in Addition to Preoperative Measurement of Cerebral Blood Flow at the Resting State Increase the Predictive Accuracy of Development of Cerebral Hyperperfusion after Carotid Endarterectomy? Results from 500 Cases with Brain Perfusion Single-photon Emission Computed Tomography Study. Neurol Med Chir (Tokyo). 2015; 55 (2): 141-148. DOI: 10.2176/nmc.oa.2014-0269

20. Gupta A., Chazen J.L., Hartman M., Delgado D., Anumula N., Shao H. et al. Cerebrovascular reserve and stroke risk in patients with carotid stenosis or occlusion: a systematic review and meta-analysis. Stroke. 2012; 43 (11): 2884-2891. DOI: 10.1161/STROKEAHA.112.663716

21. Imasaka K., Yasaka M., Tayama E., Tomita Y. Obstructive carotid and/or intracranial artery disease rarely affects the incidence of haemodynamic ischemic stroke during cardiac surgery: a study on brain perfusion single-photon emission computed tomography with acetazolamide. Eur J Cardiothorac Surg. 2015; 48 (5): 739-746. DOI: 10.1093/ejcts/ezu502

22. Stoll M., Hamann G.F. Die zerebrovaskuläre Reservekapazität [Cerebrovascular reserve capacity]. Nervenarzt. 2002; 73 (8): 711-718. DOI: 10.1007/s00115-002-1313-4

23. Tsuda K., Shiiya N., Washiyama N., Yamashita K., Ohkura K., Takahashi D. et al. Carotid stenosis with impaired brain flow reserve is associated with an increased risk of stroke in on-pump cardiovascular surgery. Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery. 2018; 27 (1): 75-80. DOI: 10.1093/icvts/ivy049

24. Kawabori M., Kuroda S., Terasaka S., Nakayama N., Matsui Y., Kubota S. et al. Therapeutic Strategies for Patients with Internal Carotid or Middle Cerebral Artery Occlusion Complicated by Severe Coronary Artery Disease. World Neurosurgery. 2010; 73 (4): 345-350. DOI: 10.1016/j.wneu.2010.01.026

25. Chernov V.I., Efimova N.Yu., Efimova I.Yu., Akhmedov Sh.D., Lishmanov Yu.B. Single-photon emission computed tomography with 99mTc-HMPAO in the evaluation of mechanisms and prognosis of cerebral complications of coronary bypass grafting. Clinical Physiology of Circulation. 2007; 3: 77-81 (in Russian).

26. Efimova N., Chernov V., Efimova I., Akhmedov Sh., Lishmanov Yu. Changes in cerebral blood flow and cognitive function in patients undergoing coronary bypass surgery with cardiopulmonary bypass. Kardiologiia. 2015; 55 (6): 40-46 (in Russian).

27. Hall R.A., Fordyce D.J., Lee M.E., Eisenberg B., Lee R.F., Holmes 4th J.H. et al. Brain SPECT imaging and neuropsychological testing in coronary artery bypass patients. The Annals of thoracic surgery. 1999; 68 (6): 2082-2088.

DOI:10.1016/s0003-4975(99)01213-8

28. Korotkevich A.A., Semenov S.E., Maleva O.V., Trubnikova O.A. Changes in Cerebral Perfusion According to Single Photon Emission Computed Tomography after Coronary Artery Bypass Grafting and Simultaneous Interventions on the Carotid and Coronary Arteries. Radiology - Practice. 2022; (5): 26-38 DOI: 10.52560/2713-0118-2022-5-26-38 (in Russian).

29. Korotkevich A.A., Semenov S.E., Maleva O.V., Trubnikova O.A., Kokov A.N..Topography of changes in brain perfusion after simultaneous interventions in the coronary and brachiocephalic arteries. REJR. 2021; 11 (3): 25-34. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-3-25-34 (in Russian).

30. Korotkevich A.A., Semenov S.E., Maleva O.V., Trubnikova O.A. Some aspects of cardio-cerebral relationship in surgical patients with multifocal atherosclerosis and heart failure. Medical Visualization. 2022; 26 (2): 101-112 DOI: 10.24835/1607-0763-1048 (in Russian).

31. Bokeriya L.A., Aslanidi I.P., Kacheishvili M.Yu., Vakhromeyeva M.N., Ryumina E.N., Shurupova I.V. Assessment of cerebrovascular reserve in patients with acquired heart defects before and after surgical treatment (according to single photon emission computed tomography with 99mTc-HMPAO). The Bulletin of Bakoulev Center. Cardiovascular Diseases. 2004; 5 (5): 294-294 (in Russian).

32. Takeuchi M., Suzuki H., Matsumoto Y., Kikuchi Y., Takanami K., Wagatsuma T. et al. Prediction of the development of delirium after transcatheter aortic valve implantation using preoperative brain perfusion SPECT. PLoS One. 2022; 17 (11): e0276447. DOI: 10.1371/journal.pone.0276447

33. Tsuchiya S., Matsumoto Y., Suzuki H., Takanami K., Kikuchi Y., Takahashi J. et al. Transcatheter aortic valve implantation and cognitive function in elderly patients with severe aortic stenosis. EuroIntervention. 2020; 15: e1580-e1587. DOI: 10.4244/EIJ-D-19-00489

34. Bagur R., Sposato L.A. Cardiocerebral continuum in cognitiv function after transcatheter aortic valve implantation. EuroIntervention. 2020; 15 (18): e1555-e1557. DOI: 10.4244/EIJV15I18A283.

.