

От приглашенного редактора

Возможности контрастной магнитно-резонансной ангиографии в диагностике синдрома диабетической стопы, осложненного гнойно-некротическими процессами

Зоркальцев М.А., Замышевская М.А., Завадовская В.Д.,
Удодов В.Д., Григорьев Е.Г.

ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск, Россия

Capabilities of Contrast Magnetic Resonance Angiography in the Diagnosis of Diabetic Foot Complicated by Purulent Necrotic Processes

Zorkaltsev M.A., Zamyshevskaya M.A., Zavadovskaya V.D.,
Udodov V.D., Grigorev E.G.

Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

Цель исследования: оценка состояния сосудистого русла у пациентов с синдромом диабетической стопы (СДС), осложненным гнойно-некротическими процессами, по данным контрастной магнитно-резонансной ангиографии (МРА).

Материал и методы. Контрастная МРА (Гадобутрол 15 мл) выполнена 31 пациенту (14 мужчин, 17 женщин, средний возраст $54,65 \pm 15,1$ года) с различными формами СДС с подозрением на остеомиелит (ОМ) на аппарате с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. Оценивали архитектуру сосудов стоп, магистральный кровоток, особенности микроциркуляции. Для идентификации воспалительного процесса проведена сцинтиграфия с мечеными лейкоцитами ^{99m}Tc -эксаметазим. Диагноз ОМ был установлен при проведении оперативного вмешательства в 100% случаев.

Результаты. Все пациенты были разделены на 3 группы: с нейропатической ($n = 12$; 38,7%), смешанной ($n = 14$; 45,2%), ишемической ($n = 5$; 16,1%) формами СДС. При оценке времени поступления контрастного средства в сосуды стоп значительно отличалось время поступления при ишемической форме СДС. При нейропатической и смешанной формах СДС были получены близкие показатели. Было выявлено отсутствие визуализации отдельных сосудистых ветвей при ишемической и смешанной формах СДС. При оценке микроциркуляции определялось 3 типа накопления контрастного препарата вне сосудистого русла в мягких тканях: равномерное, локальное повышенное, локальное отсутствие накопления. Гнойно-некротические процессы характеризовались повышенным локальным длительным накоплением контрастного средства во всех случаях.

Выводы. МРА является перспективным методом для изучения изменений периферических сосудов у больных СДС и планирования лечения осложненного течения всех форм СДС.

Ключевые слова: синдром диабетической стопы, сосуды стопы, контрастная магнитно-резонансная ангиография, остеомиелит.

Purpose: evaluation of pedal vascularisation in diabetic patients with pedal purulent necrotic processes of using contrast MR-angiography (3D DCE-MRA).

Material and methods. 31 diabetic foot of 31 patients (14 male, 17 female; mean age 54.65 ± 15.1) underwent 3D DCE-MRA (Gadobutrol 15 ml) at 1.5 T. Imaging analysis included vascular architectonic's condition, blood-flow's speed and character of contrast's accumulation. Results were compared with white blood cells-scan in identification of pyoinflammation. Osteomyelitis was verified according to operations in 100% cases.

Results. All patients were divided in 3 groups: neuropathic ($n = 12$; 38.7%), neuroischemic ($n = 14$; 45.2%), ischemic ($n = 5$; 16.1%) forms of diabetic foot. First-pass MRA detected significantly delay in contrast's arrival in ischemic group. There were no significant differences between the values of neuropathic and neuroischemic forms of diabetic foot. There was absence of any pedal vessels in patients. Contrast MR-angiography revealed the three types of contrast distribution in soft tissues: uniform, local increase and local absence. Osteomyelitis associated with diffuse enhanced contrast accumulation in all cases.



Conclusion. So MRI blood vessel imaging is a promising and valuable method for examining peripheral arterial changes in diabetic foot and may be useful for treatment planning in different forms of diabetic foot.

Key words: diabetic foot, pedal vessels, contrast MR-angiography, osteomyelitis.

Введение

По данным ВОЗ, более 220 млн человек во всем мире больны сахарным диабетом. Ежегодно сахарный диабет становится причиной смерти 1,1 млн человек, а в период до 2030 г. число случаев смерти от диабета в год удвоится. Синдром диабетической стопы (СДС) является одним из важнейших осложнений сахарного диабета, переходящим из медицинской проблемы в ранг социально значимой [1, 2]. Данный синдром включает поражение артериального и микроциркуляторного русла, нейротрофические расстройства и сопровождается структурными изменениями костей и мягких тканей. Консервативное лечение СДС обычно проводится в течение длительного времени, при этом в 10–30% случаев оно оказывается безуспешным и вызывает потребность в оперативном вмешательстве [3]. Однако хирургическое лечение часто осложняется несостоятельностью швов, отсутствием адекватного заживления операционной раны, а также присоединением гнойно-воспалительных процессов, что в результате приводит к высокой смертности среди пациентов с СДС и, довольно часто, к повторному оперативному вмешательству [4, 5].

Своевременное выявление и последующее лечение гнойно-воспалительных процессов, включая остеомиелит, являются важными условиями для уменьшения числа ампутаций и снижения летальности и невозможны на современном этапе без предварительной коррекции кровообращения [6]. При этом лучевые методы диагностики широко

применяются для оценки магистрального и периферического кровотока сосудов стоп. Среди них рентгеновская ангиография (РА) остается “золотым стандартом”. Однако использование данного метода исследования ограничено рядом недостатков, таких как инвазивность, относительно высокая лучевая нагрузка, а также возможность развития контраст-индуцированной нефропатии, что особенно актуально у данной категории пациентов.

Между тем на сегодняшний день в мировой литературе приоритеты в детальной характеристике состояния сосудистого русла принадлежат не только РА, но и контрастной МР-ангиографии (МРА), которая обладает высоким пространственным разрешением, а также не использует нефротоксичные контрастные средства (КС). О высокой информативности контрастной МРА сосудов стоп у больных СДС свидетельствует достаточное количество публикаций, в ряде из которых приводятся данные о преимуществе МРА перед РА [7]. Однако в литературе, особенно в отечественной, акцентируется внимание на проходимость сосудов и практически отсутствуют данные о результатах МРА у пациентов с СДС, осложненным гнойно-некротическими процессами.

Цель исследования

Оценка состояния сосудистого русла (сосудистая архитектура, время поступления КС и характер его накопления) у пациентов с СДС, осложненным остеомиелитом, по данным контрастной МРА.

Материал и методы

Обследован 31 пациент (14 мужчин и 17 женщин, средний возраст $54,65 \pm 15,1$ года) с невропатической ($n = 12$; 38,7%), смешанной ($n = 14$; 45,2%), ишемической ($n = 5$; 16,1%) формами СДС с подозрением на остеомиелит. Диагноз сахар-

Для корреспонденции: Замышевская Мария Александровна – 634050 Россия, Томск, Московский тракт, 2, Сибирский государственный медицинский университет. Тел. (моб.): 8-913-828-85-13. E-mail: zamyshevskayamari@mail.ru

Зоркальцев Максим Александрович – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ГБОУ ВПО СибГМУ МЗ РФ, Томск; **Замышевская Мария Александровна** – аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ГБОУ ВПО СибГМУ МЗ РФ, Томск; **Завадовская Вера Дмитриевна** – доктор мед. наук, профессор, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ГБОУ ВПО СибГМУ МЗ РФ, Томск; **Удодов Владимир Дмитриевич** – аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ГБОУ ВПО СибГМУ МЗ РФ, Томск; **Григорьев Евгений Геннадьевич** – канд. мед. наук, ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ГБОУ ВПО СибГМУ МЗ РФ, Томск.

Contact: Zamyshevskaya Mariya Aleksandrovna – Moskovskii trakt, 2, 634050, Tomsk, Russian Federation. Siberian State Medical University. Phone (mob.): +7-913-828-85-13. E-mail: zamyshevskayamari@mail.ru

Zorkaltsev Maksim Aleksandrovich – cand. of med. sci., associate professor, Department of radiology and radiotherapy of Siberian State Medical University, Tomsk; **Zamyshevskaya Mariya Aleksandrovna** – postgraduate, Department of radiology and radiotherapy of Siberian State Medical University, Tomsk; **Zavadovskaya Vera Dmitrievna** – doct. of med. sci., professor, Department of radiology and radiotherapy of Siberian State Medical University, Tomsk; **Udodov Vladimir Dmitrievich** – postgraduate, Department of radiology and radiotherapy of Siberian State Medical University, Tomsk; **Grigorev Evgeniy Gennadevich** – cand. of med. sci., assistance lecturer, Department of radiology and radiotherapy of Siberian State Medical University, Tomsk.

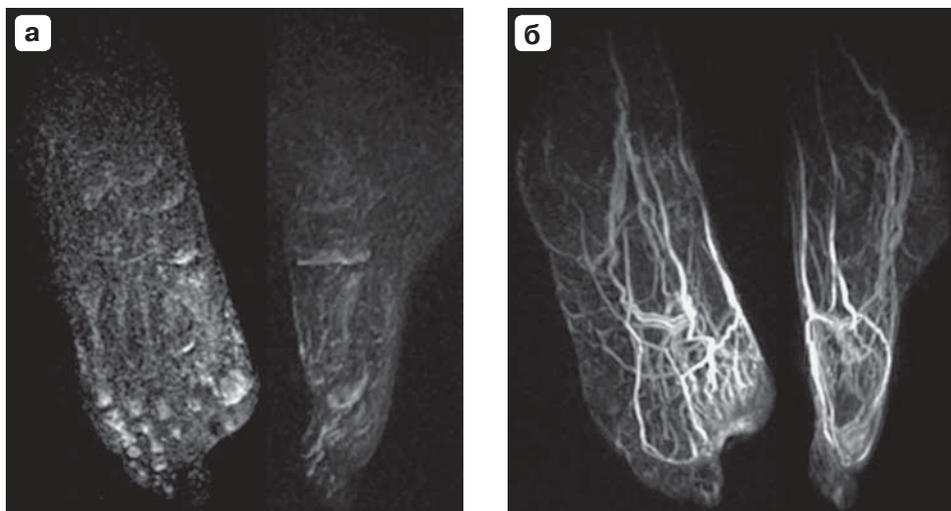
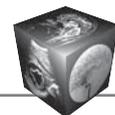


Рис. 1. Пациент Г., 65 лет, СД 2 типа, смешанная форма СДС. Объективные данные: стопа отечна, гиперемирована, I, II пальцы ампутированы, МР- изображения в режиме ангиографии. а – раннее диффузное контрастирование мягких тканей, до отчетливой визуализации магистральных артерий стопы (0–17 с); б – ранняя визуализация венозного оттока – ускоренный артериовенозный транспорт (18–34 с).

ного диабета был установлен согласно критериям ВОЗ (1999 г.). Все пациенты предъявляли жалобы на наличие боли в пораженной стопе. При объективном исследовании были выявлены следующие симптомы: отек мягких тканей (100%), гиперемия (93,5%), наличие язвенного дефекта (45,2%) или наружного отверстия свищевого хода (29,0%), местное повышение температуры (71,0%), ослабление пульсации сосудов стоп (41,9%). Оперативное вмешательство было выполнено 15 (48,4%) пациентам, 16 (51,6%) пациентов получали консервативное лечение с последующим динамическим клиническим наблюдением. В результате исследования полученного в ходе операций морфологического материала диагноз остеомиелита был подтвержден в 100% случаев.

Магнитно-резонансную томографию голеностопных суставов и стоп проводили с использованием МР-томографа Siemens Magnetom Essenza 1,5 Тл в трех стандартных сечениях – сагиттальном, коронарном и трансверзальном, толщиной среза 3–5 мм, с использованием последовательностей T1ВИ, T2ВИ, FSat. После получения нативных изображений была выполнена МРА с болюсным введением КС Гадовист (Bayer HealthCare Pharmaceuticals) в объеме 15 мл. Ангиографические изображения регистрировались в течение 180–300 с с момента введения КС путем получения циклически повторяющихся серий 17-секундных сканирований, которые были в последующем обработаны с использованием субтракции и построением MIP-реконструкций. Наряду с МРА было выполнено отсроченное постконтрастное

МР-исследование стоп в последовательности T1ВИ для сопоставления данных ангиографии и перфузии с характером постконтрастного усиления тканей стопы. В оценке кровотока полученные МР-данные сопоставлялись с данными трехфазной остеосцинтиграфии (^{99m}Tc -пирфотех, ОФЭКТ Philips BrightView). С целью идентификации воспалительного процесса выполнялась сцинтиграфия с мечеными лейкоцитами (^{99m}Tc -ceretec, ОФЭКТ Philips Bright View).

Результаты

Исследование включало в себя 3 этапа.

На первом этапе проводили оценку времени поступления КС в сосуды стоп, которое по данным исследования в общей группе в среднем составило $25,10 \pm 7,85$ с. При этом значительно отличалось время поступления КС в сосуды стоп при ишемической форме СДС, которое составило $37,80 \pm 6,53$ с. Близкие показатели получены при нейропатической – $23,17 \pm 4,22$ с и смешанной формах – $22,21 \pm 6,29$ с.

Далее с использованием в качестве эталонных данные M.R. Prince и соавт. (2001) [8] все пациенты были разделены на 3 группы: со своевременным ($n = 18$; 58,1%), ускоренным ($n = 8$; 25,8%) и замедленным поступлением КС ($n = 5$; 16,1%) в сосуды стоп. Ускоренное поступление КС наблюдали в равной степени при нейропатической ($n = 4$; 50,0%) и смешанной ($n = 4$; 50,0%) формах СДС (рис. 1). Замедленное поступление КС определялось преимущественно при ишемической форме СДС ($n = 4$; 80,0%) и лишь в 1 (20,0%) слу-

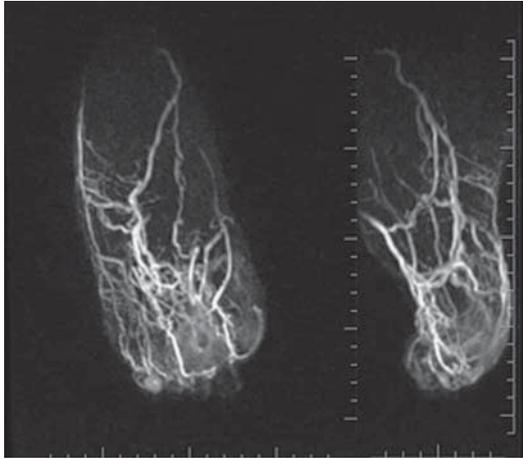


Рис. 2. Пациент К., 65 лет, СД 2 типа, ишемическая форма СДС, подозрение на остеомиелит, МР-изображение в режиме ангиографии, отсутствие визуализации всех *a. digitales* и *a. arcuata*.

чае замедление поступления КС, менее выраженное, чем у предыдущих 4 пациентов, было выявлено при нейропатической форме СДС.

На втором этапе исследования оценивали архитектуру сосудов стопы. В норме первоначально контрастируются артерии стопы, которые имеют достаточно высокую интенсивность. При этом должны визуализироваться следующие артериальные ветви: на тыле стопы *a. dorsalis pedis* и ее ветви, в том числе *a. arcuata*. На подошве стопы в норме видны *aa. plantares medialis et lateralis*. Более тонкая из двух, *a. plantaris medialis* соединяется с первой подошвенной плюсневой артерией или впадает в *arcus plantaris*. Более крупная *a. plantaris lateralis* образует дугу выпуклостью кпереди (*arcus plantaris*) и оканчивается анастомозом с *ramus plantaris profundus a. dorsalis pedis*. Вены контрастируются чуть позже и видны как сосуды извитой формы и меньшей интенсивности.

В проведенном исследовании нормальная архитектура сосудов стоп была установлена в 11 (35,5%) случаях. Нарушение кровоснабжения характеризовалось преимущественно отсутствием визуализации отдельных *a. digitales dorsales* в 11 (35,5%) случаях, что наблюдалось при ишемической (в 100% случаев) и смешанной (42,8%) формах СДС (рис. 2). В редких случаях отсутствовала визуализация *arcus plantaris* ($n = 5$; 16,1%; смешанная форма), *a. arcuata* ($n = 1$; 3,2%; ишемическая форма), *a. metatarsa dorsales* II, III пальцев ($n = 1$; 3,2%; смешанная форма). Также у 1 (3,2%; ишемическая форма) пациента не было выявлено отчетливой визуализации всех сосудов стопы на протяжении исследования.

У 1 (3,2%) у пациента с нейропатической формой СДС визуализировалась избыточная сосудистая сеть в ногтевой фаланге I пальца по латеральной поверхности и повышенная васкуляризация на уровне пястно-фалангового сустава II пальца в сочетании с нерезко повышенной васкуляризацией в ногтевой фаланге II пальца.

Другой особенностью кровообращения у исследуемой категории пациентов была ранняя визуализация венозного звена (см. рис. 1, б). Данная картина была диагностирована у 12 (38,7%) пациентов с нейропатической ($n = 8$; 66,7%) и смешанной формами СДС ($n = 4$; 33,3%).

На третьем этапе был изучен характер накопления КС в стопах, отражающий состояние микроциркуляции. Все пациенты были разделены на 3 группы: с равномерным ($n = 7$; 22,6%), повышенным ($n = 24$; 77,4%) накоплением КС, а также с локальным его отсутствием ($n = 1$; 3,2%). При этом повышенное накопление КС визуализировалось в двух вариантах: до отчетливой визуализации сосудов стопы ($n = 5$; 20,8%) и одновременно с появлением сосудистой архитектуры стоп ($n = 19$; 79,2%).

Равномерное накопление КС наблюдали примерно в равной степени при ишемической ($n = 3$; 9,7%) и нейропатической ($n = 4$; 12,9%) формах СДС. Локальное повышенное накопление до визуализации сосудов стоп выявлялось только при нейропатической ($n = 3$; 9,7%) и смешанной ($n = 2$; 6,5%) формах. Одновременное с визуализацией сосудов локальное повышенное накопление КС выявлялось в большей степени при смешанной ($n = 9$; 29,0%) и нейропатической ($n = 7$; 22,6%) формах СДС, для ишемической формы СДС данный тип накопления был характерен в меньшем количестве случаев ($n = 3$; 9,7%) (рис. 3). Отсутствие визуализации накопления было выявлено в случае смешанной формы СДС ($n = 1$; 3,2%) у пациента с гангреной I пальца левой стопы (рис. 4).

Обсуждение

Одним из распространенных осложнений сахарного диабета является поражение скелета, при этом наибольшую клиническую значимость по тяжести поражений и исходов представляет поражение нижних конечностей – СДС. Осложнения СДС, обусловленные нейропатией, ишемией и присоединением инфекции, являются частой причиной ампутаций нижних конечностей, которые в свою очередь приводят к тяжелой инвалидизации и вносят значимый вклад в показатели смертности. Ранняя диагностика СДС позволяет провести своевременное хирургическое вмешательство и рева-

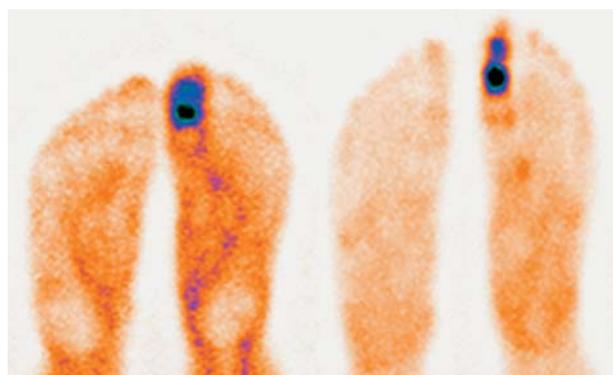
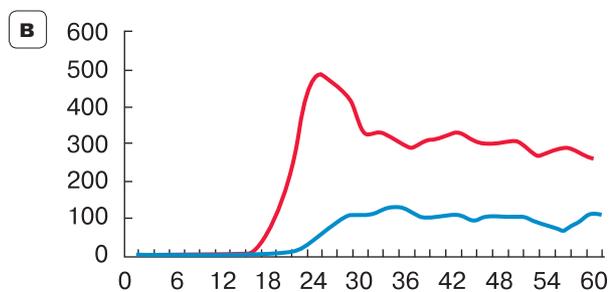
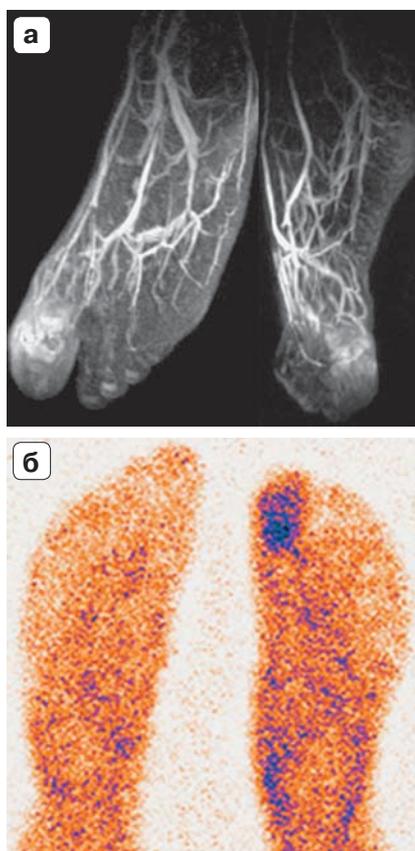
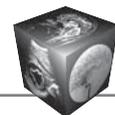


Рис. 3. Пациент Л., 27 лет, СД 1 типа, нейропатическая форма СДС. Объективные данные: стопа гиперемирована, отечна, язва с гнойным содержимым по медиальной поверхности I пальца левой стопы. а – МР-изображение в режиме ангиографии, локальное повышенное накопление КС в мягких тканях I пальца левой стопы без четкой визуализации сосудистой архитектоники, сохраняющееся длительное время; б – сцинтиграмма с мечеными лейкоцитами: локальная гиперфиксация радиофармпрепарата в I пальце левой стопы; в – трехфазная остеосцинтиграмма: раннее поступление радиофармпрепарата в сосуды стопы, его локальная гиперфиксация в I пальце левой стопы в мягкотканную и костную фазы.

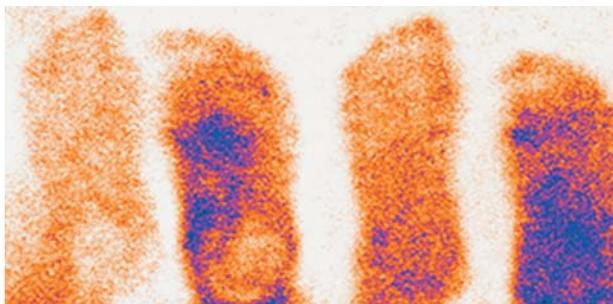
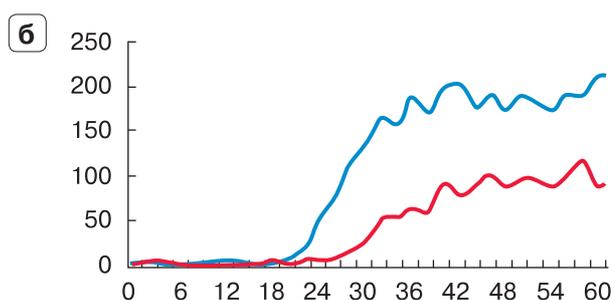


Рис. 4. Пациент Е., 54 года, СД 2 типа, смешанная форма СДС. Объективные данные: гангрена I пальца левой стопы. а – МР-изображение в режиме ангиографии: на всем протяжении исследования вплоть до 5 мин практически отсутствует накопление КС в I пальце левой стопы; б – трехфазная остеосцинтиграмма: локальная гипофиксация радиофармпрепарата в I пальце левой стопы.

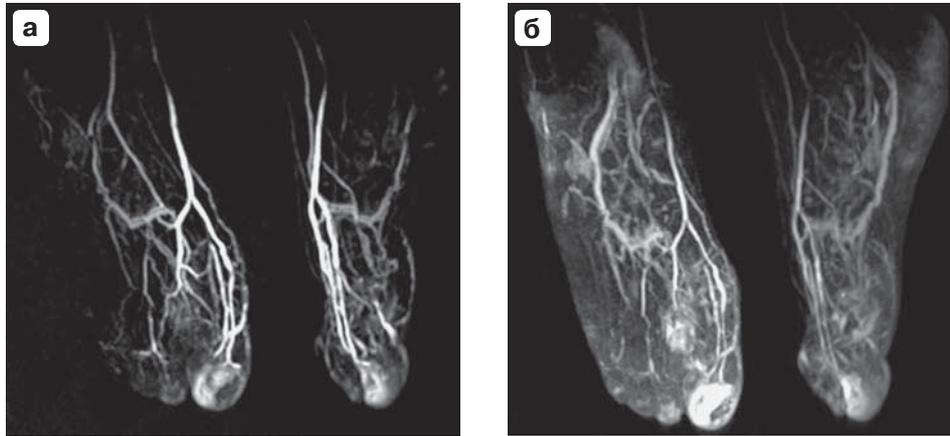


Рис. 5. Пациент Б., 63 года, СД 2 типа, нейропатическая форма СДС. Объективные данные: стопа локально гиперемирована, отечна, язва с гнойным содержимым по медиальной поверхности I пальца правой стопы. МР-изображения в режиме ангиографии. а – выраженное локальное повышение накопления КС в I пальце правой стопы одновременно с визуализацией магистральных сосудов (18–34 с); б – выраженное локальное повышение накопления КС в I пальце правой стопы, сохраняющееся длительное время (2 мин 57 с – 3 мин 13 с).

куляризацию в большинстве случаев [9]. При этом контрастная МРА рассматривается как универсальный неинвазивный метод, достаточно точный для анализа состояния артерий стоп у пациентов данной категории [10].

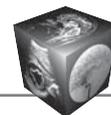
При оценке среднего времени поступления КС в сосуды стоп было выявлено замедленное поступление при ишемической форме СДС и, наоборот, преимущественно ускоренное – при смешанной и нейропатической формах данного синдрома, что не противоречит патогенезу указанных форм. Так, при нейропатической форме осложненного СДС потеря нейрогенного контроля приводит к прекапиллярной вазоконстрикции, увеличению внутрикапиллярного давления и усилению кровотока через артериовенулярные шунты. При ишемической форме отмечено наличие нарушений, связанных с застоем крови в артериолах и венолярном звене, уменьшением объема артериального притока и симпатической регуляцией. При смешанной форме регистрируются нарушения в системе регуляции за счет снижения эндотелиальной секреции, активации нейрогенного и миогенного механизмов контроля [11].

При сравнении среднего времени поступления КС в зависимости от формы СДС была выявлена достоверная статистически значимая разница между показателями при ишемической и нейропатической ($p < 0,005$) формах и между результатами при ишемической и смешанной ($p < 0,03$) формах СДС. При этом между значениями среднего времени поступления КС при нейропатической и смешанной формах достоверной статистически значимой разницы выявлено не было.

Проведено сопоставление полученных данных с результатами радионуклидной ангиографии, при выполнении которой среднее время поступления радиофармпрепарата в сосуды стопы составило $22,23 \pm 6,97$ с. При сравнении полученных результатов указанных выше методов путем корреляционного анализа была получена прямая, близкая к сильной статистически значимая корреляционная связь ($r = 0,83$, $p \leq 0,001$).

Сопоставление полученных данных с наличием воспалительного процесса, выявленного по данным сцинтиграфии с мечеными лейкоцитами показало, что гнойный воспалительный процесс определялся в 7 (38,9%) из 18 случаев своевременного, 3 (37,5%) из 8 случаев ускоренного и 4 (80,0%) из 5 случаев замедленного поступления КС. Таким образом, выявлено, что гнойное воспаление у пациентов с СДС может протекать не только на фоне сохраненного и повышенного кровотока, но и при его снижении, что является особенностью данной нозологии.

Современные представления о патофизиологии сосудистых нарушений при СДС включают в себя концепцию “критической ишемии”, при которой возникает необратимое снижение уровня перфузируемости тканей стоп, когда восстановление кровотока консервативными средствами уже невозможно [12]. Ее возникновение связано с развитием дистальных макроангиопатий, которые ведут к возникновению стенозов магистральных артерий стоп атеросклеротического генеза. При этом степень стенозирования крупных сосудов стоп прямо пропорциональна степени ишемических проявлений при СДС. В ходе оценки сосу-



дистой архитектоники было выявлено отсутствие отдельных сосудистых ветвей при ишемической и смешанной формах СДС, обусловленное, наиболее вероятно, стенозированием их просвета, что не противоречит имеющимся в литературе данным. Кроме того преимущественно при нейропатической и, в меньшей степени при смешанной формах определялась ранняя визуализация вен стоп, обусловленная артериовенозным шунтированием [11]. При этом в 7 (58,3%) из 12 случаев артериовенозного шунтирования данная картина была ассоциирована с гнойным воспалительным процессом.

При оценке характера накопления КС особое внимание привлекли случаи повышенного накопления препарата вне сосудистого русла стоп, сохраняющегося длительное время, выявленные при нейропатической и смешанной формах СДС, преимущественно ($n = 25$; 80,6%) сопровождавшиеся гнойным воспалительным процессом. Однако локальное повышенное накопление КС не являлось специфическим признаком наличия именно гнойного воспалительного процесса и встречалось в других клинических ситуациях, в том числе при формировании стопы Шарко ($n = 5$; 16,1%). Также особый интерес представляют случаи появления экстравазата до отчетливой визуализации сосудистой архитектоники ($n = 5$; 16,1%), обусловленные, по нашему мнению, значительно повышенной сосудистой проницаемостью (рис. 5).

Заключение

Контрастная МРА является эффективным методом оценки состояния сосудистого русла стоп, обладая при этом рядом преимуществ перед РА в виде отсутствия лучевой нагрузки и нефротоксического эффекта КС, что делает возможным ее использование у пациентов с сахарным диабетом.

При оценке лучевой картины у пациентов с СДС, осложненным гнойно-некротическими процессами, целесообразно обращать внимание на следующие преобладающие изменения кровотока стоп: отсутствие визуализации отдельных сосудов стоп у пациентов с ишемической и смешанной формами СДС; раннюю визуализацию вен, обусловленную артериовенозным шунтированием; сочетание замедленного времени поступления КС с наличием гнойного воспаления при СДС в ряде случаев; наличие длительного повышенного накопления КС в мягких тканях, ассоциированного с остеомиелитом.

Список литературы / References

1. Аметов А.С. Сахарный диабет 2 типа. Проблемы и решение. 2-е изд. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 1032 с. Ametov A.C. Diabetes mellitus type 2. Problems and Solution. 2nd ed. M.: GEOTAR-Media, 2014. 1032 p. (In Russian)
2. Hingorani A., La Muraglia G.M., Henke P. et al. The management of diabetic foot: A clinical practice guideline by the Society for Vascular Surgery in collaboration with the American Podiatric Medical Association and the Society for Vascular Medicine. *J. Vasc. Surg.* 2016; 63 (2, Suppl.): 3–21.
3. Malhotra R., Chan C.S., Nather A. Osteomyelitis in the diabetic foot. *Diabet. Foot Ankle.* 2014; 30; 5.
4. Bargellini I., Piaggese A., Cicorelli A. et al. Predictive value of angiographic scores for the integrated management of the ischemic diabetic foot. *J. Vasc. Surg.* 2013; 57 (5): 1204–1212.
5. Abbas Z.G. Reducing diabetic limb amputations in developing countries. *Exp. Rev. End. Metab.* 2015; 10: 425–434.
6. Manzi M., Cester G., Palena L.M. et al. Vascular imaging of the foot: the first step toward endovascular recanalization. *Radiographics.* 2011; 31 (6): 1623–1636.
7. Röhl B., Kunz R.P., Oberholzer K. et al. Gadofosveset – enhanced MR angiography of the pedal arteries in patients with diabetes mellitus and comparison with selective intraarterial DSA. *Eur. Radiol.* 2009; 19 (12): 2993–3001.
8. Prince M.R., Chabra S.G., Watts R. et al. Contrast material travel times in patients undergoing peripheral MR angiography. *Radiology.* 2002; 224 (1): 55–61.
9. Игнатович И.Н. Влияние ранней диагностики на результаты реваскуляризации при нейроишемической форме синдрома диабетической стопы. *Военная медицина.* 2013; 4: 41–44. Ignatovich I.N. The impact on the early diagnosis of revascularization in neuroischemic form of diabetic foot syndrome. *Voennaya meditsina.* 2013; 4: 41–44. (In Russian)
10. Li J., Zhao J.G., Li M.H. Lower limb vascular disease in diabetic patients: a study with calf compression contrast-enhanced magnetic resonance angiography at 3.0 Tesla. *Acad. Radiol.* 2011; 18 (6): 755–763.
11. Шаповал С.Д., Савон И.Л., Смирнова Д.А., Софилканич М.М. Характеристика микроциркуляции нижних конечностей у пациентов с осложненным синдромом диабетической стопы. *Новости хирургии.* 2013; 21 (3): 54–60. Shapoval S.D., Savon I.L., Smirnov D.A., Sofilkanch M.M. Characteristics of the lower extremities microcirculation in patients with complicated diabetic foot syndrome. *Novosti khirurgii.* 2013; 21 (3): 54–60. (In Russian)
12. Игнатович И.Н., Кондратенко Г.Г., Шкода М.В., Добровольская Ю.В. Критерии оценки артериального кровотока нижней конечности при синдроме диабетической стопы. *Хирургия. Восточная Европа-2013;* 2: 32–40. Ignatovich I.N., Kondratenko G.G., Shkoda M.V., Dobrovolsky Yu.V. Assessing criteria for of the lower extremity blood flow in diabetic foot syndrome. *Khirurgiya. Vostochnaya Evropa.* 2013; 2: 32–40. (In Russian)