

## Возможности гибридного лучевого метода (трехфазной сцинтиграфии-ОФЭКТ/КТ-ангиографии) в диагностике и стадировании острой ишемии нижних конечностей

О.В. Лещинская✉, Н.Е. Кудряшова, И.П. Михайлов, Л.Т. Хамидова, Л.С. Коков, И.А. Ерошкин, Б.В. Козловский, Е.В. Кислухина

Отделение лучевой диагностики

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им Н.В. Склифосовского ДЗМ»

Российская Федерация, 129090, Москва, Б. Сухаревская пл., д. 3

✉ Контактная информация: Лещинская Ольга Валериевна, врач-рентгенолог отделения радиоизотопной диагностики ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ». Email: o.leshchinskay@icloud.com

### АКТУАЛЬНОСТЬ

Острая ишемия нижних конечностей (ОИНК) – угрожающее жизнеспособности конечности состояние, с высоким риском неблагоприятных исходов. Своевременная и точная диагностика тяжести ишемического повреждения конечности необходима для выбора оптимального метода лечения.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проанализировать возможности гибридного метода в диагностике и дифференцировке степеней ОИНК для выбора тактики лечения и отбора пациентов на реваскуляризацию.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследованы 163 пациента с ОИНК 1-3А степени по классификации И.И. Затевахина и соавт. (2002) на гибридном сканере *Discovery 670 NM/CT* с использованием рентгенологического (компьютерная томографическая ангиография) и радионуклидного метода (трехфазная сцинтиграфия/однофотонная эмиссионная компьютерная томография с остеотропным либо перфузируемым радиофармпрепаратом).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Компьютерная томографическая ангиография (КТА) позволила во всех случаях выявить причину ОИНК – острую окклюзию и характеризовать дистальное русло для решения вопроса о возможности выполнения реваскуляризации. Признаки, которые оценивались для характеристики магистрального кровотока и состояния тканей конечности при КТА, не позволяли статистически значимо различать степени ОИНК и были расценены как дополнительные. Радионуклидный метод позволял определять степени ОИНК на основании визуальной картины и расчетных данных, при этом исследования с остеотропным радиофармпрепаратом (РФП)  $^{99m}\text{Tc}$ -пирфотехом представляли больше информации благодаря возможности визуализировать зоны мионекроза по сравнению с перфузируемым РФП.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гибридная технология помогает в комплексной диагностике нарушения кровотока нижних конечностей на магистральном и микроциркуляторном уровнях для определения причины и тяжести острого ишемического повреждения конечности. Ее использование способствует выбору оптимальной тактики лечения, решению вопроса о возможности и способах реваскуляризации для сохранения конечности или снижения уровня ампутации, а также своевременного планирования детоксикации.

### ВЫВОДЫ

1. Компьютерная томографическая ангиография позволяет детально оценить уровень и выраженность окклюзирующего поражения артериального русла и изучить сосудистую анатомию нижней конечности для решения вопроса о возможности реваскуляризации, а также косвенно характеризует наличие ишемических изменений в мягких тканях.
2. Радионуклидный метод (трехфазная сцинтиграфия с остеотропным радиофармпрепаратом/однофотонная эмиссионная компьютерная томография), выполненный в дополнение к компьютерной томографической ангиографии, позволяет не только выявить наличие ишемических изменений в мягких тканях, но и дифференцировать степень острой ишемии нижних конечностей.
3. Гибридный метод (трехфазная сцинтиграфия в сочетании с компьютерной томографической ангиографией) способствует объективной оценке состояния кровотока в нижних конечностях при острой ишемии как на магистральном, так и на микроциркуляторном уровнях.

### Ключевые слова:

гибридные технологии, острая ишемия нижних конечностей, компьютерная томографическая ангиография, нарушение тканевого кровотока

### Для цитирования

Лещинская О.В., Кудряшова Н.Е., Михайлов И.П., Хамидова Л.Т., Коков Л.С., Ерошкин И.А. и др. Возможности гибридного лучевого метода (трехфазной сцинтиграфии-ОФЭКТ/КТ-ангиографии) в диагностике и стадировании острой ишемии нижних конечностей. *Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь*. 2022;11(4):550–560. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-4-550-560>

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### Благодарность, финансирование

Исследование не имеет спонсорской поддержки

ИВ — индекс выведения  
 ИС — индекс соотношения  
 КОН — коэффициент относительного накопления

КТА — компьютерная томографическая ангиография  
 ОИНК — острая ишемия нижних конечностей  
 РФП — радиофармпрепарат

## ВВЕДЕНИЕ

Острая ишемия конечности — это внезапное снижение перфузии конечности, угрожающее ее жизнеспособности и существующее до 14 суток. По данным отечественных обзоров, количество пациентов с острой ишемией нижних конечностей достигает 140 пациентов на миллион населения в год [1]. По зарубежным данным встречается один случай острой ишемии на 6000 человек населения ежегодно [2]. Пациенты с ОИНК имеют высокий риск неблагоприятного прогноза: частота ампутаций в данной группе достигает 10–15% [3]. Уровень летальности при острой ишемии достигает 15–20% [4]. Основными причинами ОИНК являются острые тромбозы (40%), эмболии (37%), тромбозы протезов и зон эндоваскулярных вмешательств (до 15%), а также тромбозы аневризм и травмы артерий [2, 5, 6]. Лечение ОИНК заключается в скорейшем восстановлении кровотока в ишемизированном участке. Решающими факторами, определяющими исход и успешность лечения, являются уровень поражения артериального русла и степень ишемии тканей. Однако даже при наличии показаний и анатомической возможности для выполнения реваскуляризирующего вмешательства результаты лечения не всегда соответствуют ожидаемым, что вызвано различной выраженностью микроциркуляторных нарушений в зоне ишемии. Отечественные и зарубежные рекомендации по ведению пациентов с ОИНК в качестве метода визуализации первой линии указывают компьютерную томографическую ангиографию (КТА), а при невозможности их выполнения — ультразвуковое (УЗ) сканирование и контрастную магнитно-резонансную (МР) ангиографию. Долгое время «золотым стандартом» считалось выполнение цифровой контрастной ангиографии, что давало возможность в ходе вмешательства провести как диагностические, так и реваскуляризирующие манипуляции, однако данный метод является инвазивным и сопровождается большим числом осложнений по сравнению с вышеперечисленными методами исследования сосудистого русла [7, 8]. Указанные лучевые методы характеризуют состояние магистральных артерий, но не учитывают характеристики тканевого кровотока. Об использовании метода КТА для диагностики окклюзирующего поражения существует множество отечественных и зарубежных публикаций [9–13]. Однако, помимо нарушения проходимости магистральных артериальных стволов, на результаты реваскуляризирующего вмешательства напрямую влияет состояние тканевого кровотока [14]. Его исследование является важной задачей, поскольку недооценка тяжести ишемического повреждения (например, на стадии формирования некрозов) на этапе планирования хирургического лечения может привести к неэффективной реваскуляризации, прогрессированию ишемии в послеоперационном периоде и развитию тяжелого реперфузионного повреждения [15–18]. В отечественной и зарубежной медицинской литературе существуют публикации, посвященные использованию радионуклидного метода в оценке острой и хронической ишемии, однако они не рассматривают данный метод в качестве вспомогательного для оценки степени ОИНК [19–22]. Гибридный метод,

сочетающий в себе возможность последовательного проведения КТА и сцинтиграфии/ОФЭКТ (однофотонная эмиссионная компьютерная томография) на одном сканере, позволяет одновременно решить обе задачи — дать оценку магистрального кровотока и тяжести ишемического повреждения тканей.

**Цель работы** — анализ возможностей гибридного метода в диагностике и дифференцировке степеней ОИНК для выбора тактики лечения и отбора пациентов на реваскуляризацию.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В 2018–2021 гг. гибридным методом были обследованы 163 пациента с ОИНК: 131 мужчина (80%) и 32 женщины (20%), средний возраст которых составил  $67,8 \pm 11,99$  года. Пациенты были сгруппированы в зависимости от клинической степени ОИНК в соответствии с классификацией И.И. Затевахиной (2002). В группу с ОИНК 1–2А степени вошли 90 пациентов (55%, средний возраст 66,2 года), 2Б — 34 пациента (21%, средний возраст 72,8 года), 2В — 24 пациента (15%, средний возраст 72,4 года) и 3А — 15 пациентов (9%, средний возраст 64,8 года). У 160 пациентов ОИНК была проявлением сосудистой недостаточности на фоне атеросклеротического тромбоза или эмболии, а у 3 причиной ОИНК была травма с развитием травматического тромбоза артерий. Консервативное лечение проводилось 118 пациентам (ОИНК 1–2А степени — 68 пациентам, 2Б — 21, 2В — 19, 3А — 10), реваскуляризации были подвергнуты 45 пациентов (ОИНК 1–2А степени — 22 пациента, 2Б — 13, 2В — 5, 3А — 5).

Исследования как магистрального, так и тканевого кровотока проводили на гибридном сканере *Discovery 670 NM/CT, GE*, США. Трехфазная сцинтиграфия — радионуклидный метод, включающий первое прохождение РФП, тканевую и отсроченную (костную) фазы. Использовали один из двух РФП: остеотропный —  $^{99m}\text{Tc}$ -пирфотех внутривенно (в/в) 500 МБк, лучевая нагрузка на пациента — 2,85 мЗв), либо перфузируемый —  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрил (в/в 500 МБк, лучевая нагрузка — 4,5 мЗв). Распределение РФП оценивали по планарным сцинтиграммам в передней и задней проекциях, при необходимости более точной локализации изменений исследование дополняли томографическим режимом (ОФЭКТ). Перфузируемый РФП позволяет выявить наличие и распространенность зон гипо- и аперфузии. Остеотропный РФП, помимо этого, позволяет выявить участки асептического мышечного некроза, формирующиеся при ОИНК, начиная с 2В степени. КТА проводили с в/в введением йодсодержащего контрастного вещества (350 мг/мл йода (I); 1,2–1,5 мл/кг; 3,5–4,5 мл/с), лучевая нагрузка составила 9–11 мЗв. Лучевые исследования проводили на наиболее ранних сроках госпитализации с целью уточнения степени ОИНК (по тяжести микроциркуляторных нарушений), а исследования состояния магистрального артериального русла (в том числе принимающего дистального русла) — для определения лечебной тактики. Данные были обработаны с помощью программы статистической обработки «Статистика 10.0».

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для каждого из лучевых методов в рамках гибридного исследования были определены признаки, отражающие патологические процессы, протекающие в ишемизированной конечности, которые были использованы для анализа и статистической обработки.

К скинтиграфическим признакам ОИНК были отнесены следующие (визуальные и расчетные):

- наличие зон сниженного тканевого кровотока или отсутствие микроциркуляции (аперфузия) — в тканевой фазе, либо в обе фазы исследования и характер их распределения (очаговое или диффузное);

- наличие зон гиперфиксации РФП (формирующиеся некротические или инфильтративные изменения);

- расчетные показатели — индекс выведения РФП, индекс соотношения накопления РФП, а также интенсивность накопления в очаге некроза с нарастанием коэффициента относительного накопления (КОН) в костной фазе.

Параметры, определяемые методом КТ:

- локализация и протяженность окклюзирующего поражения магистрального сосуда и количество вовлеченных сегментов магистрального русла конечности;

- наличие контрастирования артерий голени и стопы, отражающее восстановление дистального кровотока;

- наличие коллатеральной артериальной сети;

- плотность тромботических масс;

- наличие инфильтративных изменений мягких тканей нижней конечности;

- признаки жировой инфильтрации мышц;

- плотность мышечной ткани здоровой и пораженной конечности.

## СЦИНТИГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ОИНК

## Наличие зон сниженного тканевого кровотока и аперфузии

В обследованной когорте пациентов лишь в группе 1–2А присутствовала небольшая доля (13% — 12 из 90, 12/90) пациентов, у которых тканевой кровоток был сохранен как в тканевой, так и в костной фазах. Эти пациенты были отнесены к 1-й степени ОИНК, поскольку была подтверждена соответствующая клиническая картина острой ишемии.

У остальных 78 пациентов (87%) группы 1–2А, а также у всех пациентов в группах 2Б, 2В и 3А обнаружены признаки снижения тканевого кровотока. У пациентов со 2А степенью ОИНК отмечалась гипоперфузия в тканевой фазе при восстановлении кровоснабжения в костной фазе.

Для пациентов с клинической картиной ишемии тяжелой степени ОИНК (2Б, 2В, 3А ст.) было характерно выраженное снижение тканевого кровотока вплоть до его отсутствия (аперфузия) — очагового либо диффузного типа.

Аперфузия определялась как визуальное отсутствие накопления РФП у 22 из 28 пациентов (79%) группы 2Б и у 21 из 22 пациентов (95%) группы 2В. У данных пациентов этот признак был отмечен в тканевой фазе с возрастанием накопления радиоиндикатора в костной фазе. В группе 3А у всех пациентов (13/13, 100%) была отмечена аперфузия диффузного характера в обеих фазах исследования (тканевой и костной), что было связано с отсутствием микроциркуляции на фоне некротических процессов, невозможностью

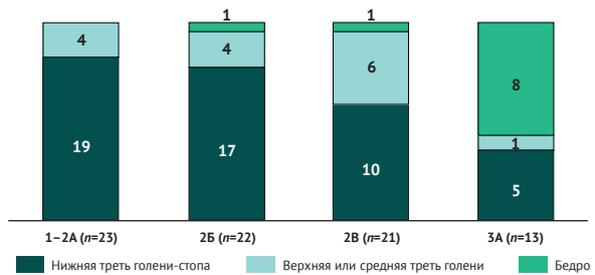


Рис. 1. Распределение пациентов с различными проксимальными уровнями аперфузии в группах по клинической степени острой ишемии нижних конечностей  
Fig. 1. Distribution of patients with different proximal levels of aperfusion in groups according to the clinical degree of acute lower limb ischemia

проникновения РФП в ткани из капиллярного русла и прекращением кровоснабжения и метаболической активности костной ткани. При этом при нарастании тяжести ОИНК отмечалось большее количество случаев с проксимальным уровнем отсутствия нарушения микроциркуляции (рис. 1).

Необходимо отметить, что аперфузия очагового характера наблюдалась у 23 из 90 пациентов клинической группы 1–2А (26%), что позволило рекомендовать изменить степень ОИНК у этих пациентов на более тяжелую (2Б).

## Гиперфиксация РФП

При скинтиграфии с  $^{99m}\text{Tc}$ -пирфотехом выявляли зоны гиперфиксации РФП, характеризующие формирование некроза мышц или инфильтративных изменений в мягких тканях, что связано с особенностями фармакокинетики препарата и его способностью включаться в фосфорно-кальциевый обмен в костной ткани и аккумулироваться в мягких тканях в участках воспалительных изменений и зонах некроза.

При этом для диагностики некротических изменений важным критерием являлся расчет КОН в очаге гиперфиксации относительно здоровой конечности в тканевую и костную фазы. Нарастание КОН в костную фазу по сравнению с тканевой служило признаком мионекроза, в отличие от зон инфильтративных изменений, когда нарастания КОН не наблюдали.

Участки гиперфиксации были выявлены у 29 пациентов (из 82, обследованных с остеотропным препаратом) из группы 1–2А степени ОИНК (9/29 — были определены как некротические изменения, что соответствовало более тяжелой степени ОИНК); у 15/28 пациентов группы 2Б (из них у 12/15 — некротические изменения), у 21/22 пациента группы 2В (у всех 21/21 — некротические изменения), у 11/12 пациентов группы 3А (у всех 11/11 — некротические изменения).

Расчетные индексы (индекс выведения и индекс соотношения) для  $^{99m}\text{Tc}$ -пирфотеха

Индекс выведения (ИВ) РФП рассчитывали как отношение среднего счета импульсов в мышце голени в тканевой фазе (Nтф) к среднему счету импульсов в мышце в костной фазе (Nкф):

$$\text{ИВ} = K \cdot \text{Nтф} / \text{Nкф},$$

где K — коэффициент, учитывающий распад  $^{99m}\text{Tc}$  и поправку на временной интервал в 3 часа.

При этом ИВ статистически значимо различался в группах 1–2А и 2Б ( $p=0,0006$ ), 1–2А и 2В ( $p=0,0000001$ ), 1–2А и 3А ( $p=0,005$ ); а также в группах 2Б–2В ( $p=0,0009$ ).

Таблица 1

## Сцинтиграфические признаки острой ишемии нижних конечностей

Table 1

## Scintigraphic signs of acute lower limb ischemia

Степень острой ишемии нижних конечностей	Снижение кровотока		Аперфузия		Гиперфиксация радиофармпрепарата		Некроз в зоне аперфузии
	Тканевая фаза	Костная фаза	ТФ	КФ	Инфильтрация	Некроз	
1	–	–	–	–	–/+	–	–
2А	+	–	–	–	–/+	–	–
2Б	+	+	+	–	–/+	–	–
2В	+	+	+	–	–/+	+	–
3А	+	+	+	+	–/+ в жизне-способных тканях	–/+ в демаркационной зоне	+

Примечание: «+» признак присутствует, «–» отсутствие признака  
 Notes: "+" the sign is present, "-" the sign is absent

За индекс соотношения (ИС) накопления РФП принимали отношение среднего счета импульсов в мышце голени в тканевой фазе (Nт) к среднему счету импульсов в кости голени в костной фазе (Nк):

$$ИС = Nт / Nк$$

Расчетные показатели ИС имели статистически значимое различие между группами 1–2А и 2Б ( $p=0,0000001$ ), 1–2А и 2В ( $p=0,0000001$ ) и 1–2А и 3А ( $p=0,007$ ), а также между группами 2Б и 2В ( $p=0,012$ ).

При анализе распределения данных признаков в группах были получены следующие сцинтиграфические признаки ОИНК (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что для 1-й степени острой ишемии характерен сохраненный тканевой кровотока в обеих фазах радионуклидного исследования с возможными инфильтративными изменениями; для ишемии 2А характерно снижение тканевого кровотока в тканевой фазе с возможными инфильтративными изменениями; для ишемии 2Б — снижение либо отсутствие тканевого кровотока в тканевой фазе, но восстановление его в костной фазе (с возможными инфильтративными изменениями без зон асептического некроза); для ишемии 2В характерны те же изменения (как в 2Б), но с появлением зон асептического некроза; для 3А — отсутствие тканевого кровотока с определенного уровня как в тканевой, так и в костной фазе и участки гиперфиксации РФП выше уровня полного отсутствия кровоснабжения и в демаркационной зоне (зоны некроза).

Визуальная сцинтиграфическая картина, характерная для ОИНК, представлена на рис. 2.

Расчетные индексы имели меньшую статистическую значимость в дифференцировке групп, однако отмечалась отчетливая тенденция к увеличению значений ИВ и снижению значений ИС при усугублении тяжести ишемии. Средние значения индексов представлены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что ИВ (отношение среднего счета импульсов в мышце в тканевой фазе к среднему счету импульсов в мышце в костной фазе) уменьшается при усугублении степени ишемии, а ИС (отношение среднего счета импульсов в мышце к среднему счету импульсов в кости в костной фазе) — наоборот, увеличивается.

С помощью перфузируемого препарата  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрила были обследованы 18 пациентов: 8 с клинической степенью ОИНК 1–2А, 6 — 2Б, 2 — 2В и 2 — 3А. При этом исследования с данным РФП уступали по информативности остеотропному препарату, поскольку

ку его фармакокинетика не позволяет выявлять зоны некротических изменений в мягких тканях и не дает возможности четко дифференцировать между собой тяжелые степени ОИНК (2Б, 2В, 3А).

## ПРИЗНАКИ ОИНК, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ КТ

В рамках гибридного исследования всем пациентам выполняли КТА. Последовательное проведение двух лучевых исследований (рентгенологического и радионуклидного) на одном аппарате позволило избежать дополнительных временных затрат и логистических мероприятий по перемещению пациентов (с учетом выраженности болевого синдрома таких пациентов, как правило, транспортируют на каталке в сопровождении медперсонала), а также дало возможность сопоставления изображений (КТА и ОФЭКТ) для точной локализации патологических изменений в мягких тканях.

Было выявлено следующее распределение обозначенных выше признаков, выявляемых методом КТА.

**Наличие и локализация окклюзирующего поражения магистрального сосуда и количество вовлеченных сегментов магистрального русла нижней конечности**

У всех пациентов (100%) было выявлено наличие окклюзирующего поражения магистральных артерий нижних конечностей.

Исследовали следующие сегменты артериального русла, исходя из бассейнов кровоснабжения и порядка ветвления артерий: аорто-подвздошный (дистальный отдел аорты, общая и наружная подвздошные артерии), бедренный (общая бедренная артерия, глубокая артерия бедра — для кровоснабжения всей нижней конечности или бедра), и дистальный (поверхностная бедренная артерия, подколенная артерия и артерии голени — для кровоснабжения области колена, голени и стопы). При ишемии степеней 1–2А–2Б–2В отмечали нарастание количества более «высоких» окклюзий по мере увеличения тяжести ишемии (рис. 3). При 3А степени в обследованной группе отмечали тенденцию к уменьшению количества проксимальных и увеличению числа периферических окклюзий.

Отсутствовала статистически значимая разница между группами по распространенности окклюзирующего поражения с учетом вовлеченных сегментов. Количественное распределение по уровням артериального русла, вовлеченным в окклюзирующий процесс в каждой группе, представлено на диаграмме (рис. 4).

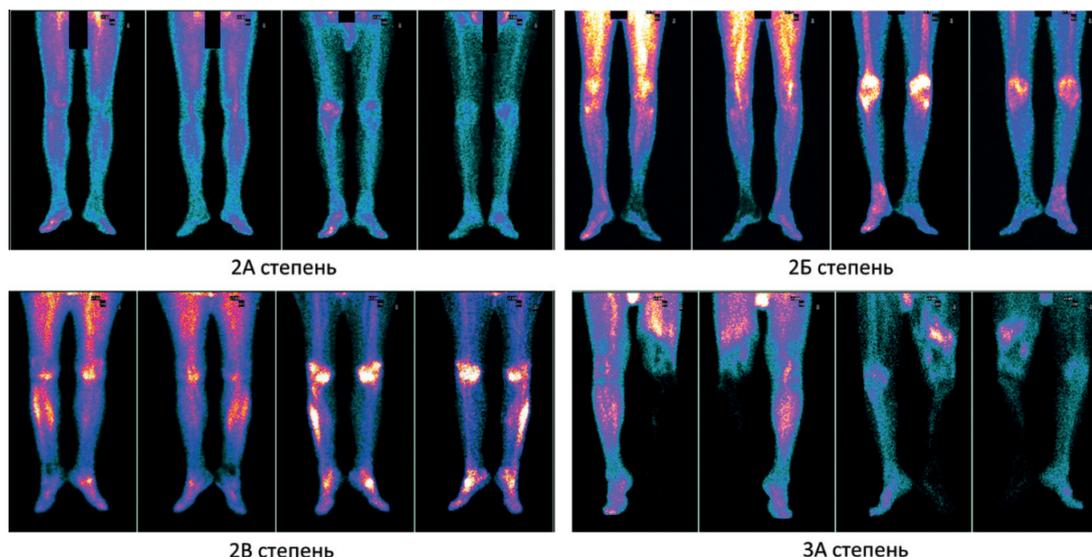


Рис. 2. Визуальные признаки острой ишемии нижних конечностей на основании скинтиграфического метода; для каждой степени острой ишемии нижних конечностей представлены скинтиграммы в тканевой фазе в передней и задней проекциях и костной фазе также в передней и задней проекциях: 2А степень — снижение накопления радиофармпрепарата в нижней трети голени и стопе слева с перераспределением в костной фазе; 2В степень — снижение микроциркуляции от уровня средней трети левой голени и в стопе с участком аперфузии в области голеностопного сустава с восстановлением накопления радиофармпрепарата в костной фазе; 2В — снижение микроциркуляции в дистальной трети правой голени и в стопе с участком аперфузии в области голеностопного сустава с восстановлением накопления в костной фазе, а также участок некротических изменений в мышцах правой голени с нарастанием накопления в костной фазе; 3А — аперфузия в тканях левой конечности от уровня середины левого бедра с отсутствием восстановления накопления в костной фазе — некротические изменения без поступления радиофармпрепарата, а также демаркационная зона в виде формирующегося некроза с гиперфиксацией радиофармпрепарата в средней трети левого бедра

Fig. 2. Visual signs of acute lower limb ischemia based on the scintigraphic method; for each degree of acute ischemia of the lower extremities, scintigrams are presented in the tissue phase in the anterior and posterior projections and the bone phase also in the anterior and posterior projections: grade 2A — reduced accumulation of the radiopharmaceutical in the lower third of the lower leg and foot on the left with redistribution to the bone phase; Grade 2B — decrease in microcirculation from the level of the middle third of the left lower leg and in the foot with an area of aperfusion in the ankle joint with restoration of the accumulation of the radiopharmaceutical in the bone phase; 2B — decreased microcirculation in the distal third of the right lower leg and in the foot with an area of aperfusion in the area of the ankle joint with recovery into the bone phase, as well as an area of necrotic changes in the muscles of the right lower leg with an increase in accumulation into the bone phase; 3A — aperfusion in the tissues of the left limb from the level of the middle of the left thigh with no recovery of accumulation in the bone phase, necrotic changes without the receipt of a radiopharmaceutical, as well as a demarcation area in the form of emerging necrosis with hyperfixation of the radiopharmaceutical in the middle third of the left thigh

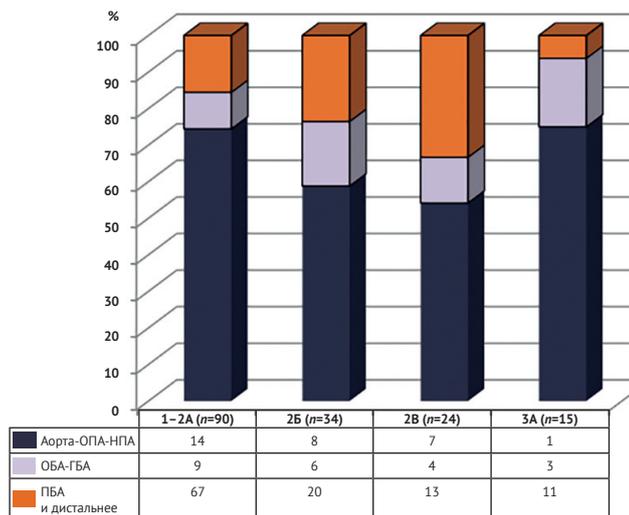


Рис. 3. Проксимальные уровни окклюзии по данным компьютерной томографии-ангиографии у пациентов с различной степенью острой ишемии нижних конечностей  
Примечания: ГБА — глубокая артерия бедра; НПА — наружная подвздошная артерия; ОБА — общая бедренная артерия; ОПА — общая подвздошная артерия; ПБА — поверхностная бедренная артерия

Fig. 3. Proximal levels of occlusion according to computed tomography-angiography in patients with various degrees of acute lower limb ischemia  
Notes: ГБА — deep artery of the thigh; НПА — external iliac artery; ОБА — common femoral artery; ОПА — common iliac artery; ПБА — superficial femoral artery

Таблица 2  
Распределение значений индекса выведения и индекса соотношения в зависимости от степени острой ишемии нижних конечностей в обследованной выборке пациентов

Table 2  
The distribution of the values of the elimination index and the ratio index depending on the degree of acute ischemia of the lower extremities in the examined sample of patients

Степень острой ишемии нижних конечностей	Индекс выведения	Индекс соотношения
1-2А	1,44±0,53	0,59±0,17
2В	1,05±0,49	0,8±0,13
2В	0,62±0,43	1,08±0,04
3А	0,85±0,67	0,89±0,36

**Протяженность зоны окклюзии магистрального сосуда**

Отмечалось преобладание количества «длинных» окклюзий (более 30 см) при увеличении тяжести ОИНК (с 48% при степени 1-2А до 93% при степени 3А), что, вероятно, обусловлено быстрым присоединением вторичного тромбоза и удлинением изначально короткого окклюзированного участка на фоне стаза крови перед зоной окклюзии, а также дистальнее окклюзии-

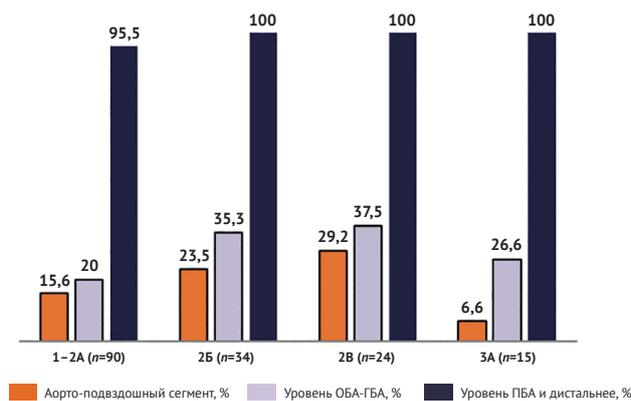


Рис. 4. Вовлеченность в окклюзирующий процесс различных уровней артериального русла в группах по степени острой ишемии нижних конечностей

Примечания: ГБА — глубокая артерия бедра; ОБА — общая бедренная артерия; ПБА — поверхностная бедренная артерия

Fig. 4. The involvement of various levels of the arteries in groups 1–3A according to the degree of acute lower limb ischemia in the occlusive process

Notes: ГБА — deep artery of the thigh; ОБА — common femoral artery; ПБА — superficial femoral artery

рованного сегмента. Данному процессу способствуют отсутствие коллатерального кровотока и нарушение микроциркуляции на фоне ишемического повреждения и изменения реологических свойств крови при интоксикации продуктами мионекроза.

#### Восстановление контрастирования в дистальном русле и наличие коллатеральной сети

По количеству случаев восстановления кровотока в дистальном русле (полного либо частичного) по группам 1–2А и 2В, 2В и 2В статистически значимых различий не выявлено ( $p=0,062$  в обоих случаях). При этом данные между группами 1–2А и 3А, 1–2А и 2В, 2В и 3А статистически значимо различались ( $p=0,04$ ). Схематично процентное распределение вариантов восстановления кровотока представлено на графике (рис. 5).

#### Наличие коллатеральной сети

Развитая коллатеральная сеть чаще прослеживалась при ишемии 1–2А и 2В, в то время как коллатеральная сеть в конечностях с сомнительной жизнеспособностью и признаками формирования гангрены (2В и 3А степени) присутствовала всего у 10 пациентов. Это могло быть обусловлено быстрым прогрессирующим нарастанием ишемии при окклюзии в «неподготовленном» сосудистом русле. В то же время при длительно существующем атеросклеротическом процессе и постепенном развитии обструкции просвета артерий успевают сформироваться коллатеральная сеть в обход участка окклюзии (рис. 6).

#### Плотность мышечной ткани здоровой и пораженной конечности

Измерение плотности мышечной ткани производили в одинаковых зонах равного размера на пораженной и контралатеральной (условно «здоровой») конечности:

- в толще приводящих мышц на уровне бедра дистальнее большой ягодичной мышцы,
- в мышцах переднего отдела верхней трети голени (поскольку мышцы переднего компартмента голени более чувствительны к ишемическому повреждению).

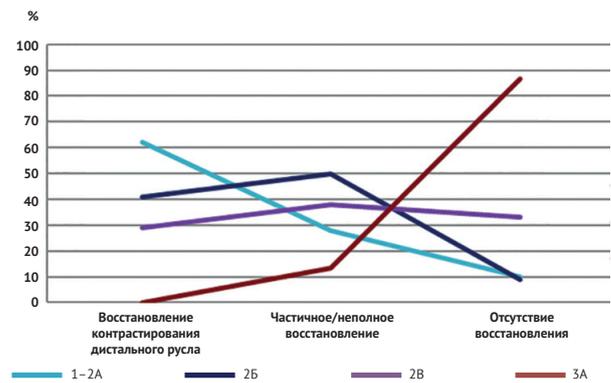


Рис. 5. Восстановление контрастирования дистальнее зоны окклюзии по данным компьютерной томографии-ангиографии

Fig. 5. Restoration of contrast distal to the occlusion zone according to computed tomography-angiography data



Рис. 6. Компьютерная томография-ангиография, объемная реконструкция, фронтальная плоскость; отмечается двустороннее окклюзирующее поражение поверхностной бедренной артерии, окклюзия бедренно-подколенного шунта слева, окклюзия средней и дистальной трети глубокой артерии бедра справа; двусторонняя коллатеральная сеть в мягких тканях бедра за счет ветвей глубокой артерии бедра

Значения плотности в здоровой и пораженной конечности на уровне бедра и голени представлены на диаграммах (рис. 7, 8)

Данные, представленные на рис. 7 и 8, демонстрируют наличие разницы значений плотности в подгруппах здоровой и пораженной конечности при измерении на уровне голени. На уровне бедра данная разница отсутствовала либо была статистически незначимой. Этот факт можно объяснить кровоснабжением мышц

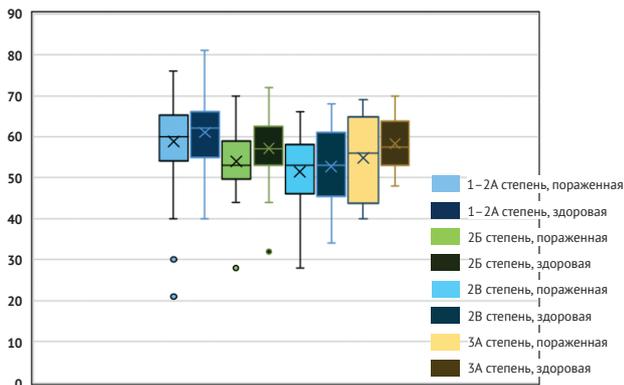


Рис. 7. Распределение значений плотности мышц бедра здоровой и пораженной конечности в зависимости от степени острой ишемии нижних конечностей  
 Fig. 7. Distribution of thigh muscle density values in healthy and affected limbs depending on the degree of acute lower limb ischemia

бедра из неповрежденной глубокой артерии бедра при инфраингвинальных окклюзиях (на фоне их преобладания в общей выборке пациентов).

**Инфильтративные изменения мягких тканей** вызваны явлениями ишемии и асептического воспаления и проявляются отеком клеток и межклеточных пространств и лейкоцитарной воспалительной инфильтрацией. При КТА они характеризовались признаками отека подкожной жировой клетчатки нижних конечностей и жировой клетчатки межмышечных пространств с неравномерным повышением ее плотности, тяжестью, увеличением объема мягких тканей и «сглаженностью» межмышечных жировых прослоек. Кроме того, к признакам отека и инфильтративных изменений мышц относили утрату их волокнистой структуры и появление однородности с «подчеркнутыми» сухожильными элементами. При измерении плотности мышечной ткани в этих случаях, как правило, получали сниженные (по сравнению со здоровой конечностью) значения. В обследованных группах отмечалось нарастание количества пациентов с инфильтративными изменениями мягких тканей и признаками их отека при ишемии тяжелой степени (2Б, 2В, 3А). Соответствующие данные представлены в табл. 3.

**Признаки заместительной жировой инфильтрации мышц** не являются прямым признаком острой ОИНК и отражают наличие хронической артериальной недостаточности мышечной ткани либо ранее перенесенного эпизода ОИНК, на фоне чего утрачивается типичное строение мышечных волокон и происходит их замещение жировой тканью. Оценивали наличие жировой инфильтрации мышц пораженной конечности вне зависимости от уровня окклюзии, при этом признаки жировой инфильтрации присутствовали у 34% пациентов из группы 1–2А, у 50% пациентов группы 2Б, у 42% — 2В и у 40% — при 3А степени ОИНК.

**Плотность тромботических масс**, измеряемая при КТА, не имела статистически значимых различий в группах по степеням ОИНК и находилась в диапазоне 27 Ну и 77 Ну. Кроме того, значения плотности тромбов у одного и того же пациента существенно отличались при измерении на различных уровнях зоны окклюзии.

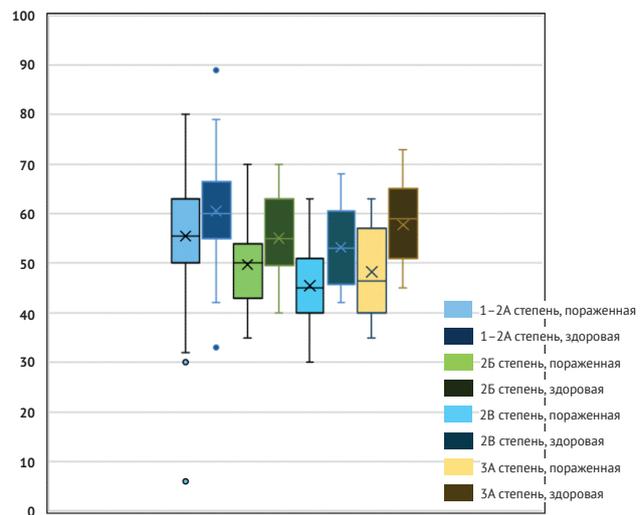


Рис. 8. Распределение значений плотности мышц голени здоровой и пораженной конечности в зависимости от степени острой ишемии нижних конечностей  
 Fig. 8. Distribution of the density values of the leg muscles of a healthy and affected limb depending on the degree of acute lower limb ischemia

Таблица 3

**Пациенты с изменениями мягких тканей (инфильтративные изменения, отек), выявляемыми методом компьютерной томографии-ангиографии**

Table 3

**Number of patients with soft tissue changes (infiltrative changes, edema) revealed by computed tomography angiography**

Степень ишемии	Количество случаев	Доля в группе, %
1–2А (n=90)	29	32
2Б (n=34)	16	47
2В (n=24)	11	46
3А (n=15)	11	73

При систематизации признаков КТ-визуализации в зависимости от степени ОИНК были получены следующие данные (табл. 4).

Из табл. 4 следует, что, в отличие от скинтиграфии, метод КТА не выявил четких критериев для разграничения степеней ОИНК. У всех пациентов выявлена окклюзия магистрального артериального сосуда в качестве причины острой ишемии. Отмечалась взаимосвязь тяжести ишемии с наличием восстановления контрастирования в артериальном русле дистальной зоны окклюзии. При более тяжелой ОИНК прослеживалась скудная выраженность или отсутствие коллатеральной сети, значительная протяженность окклюзии, большее количество вовлеченных сосудистых сегментов, а из тканевых признаков — меньшая плотность мышечной ткани по сравнению со здоровой конечностью, большая выраженность инфильтративных изменений и отека. Данные признаки не позволяют идентифицировать степень ОИНК, но могут быть использованы в качестве дополнительных для оценки тяжести острой ишемии.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Гибридная технология помогает в комплексной диагностике нарушения кровотока нижних конечностей на магистральном и микроциркуляторном уровнях

Таблица 4

**Распределение признаков, выявляемых методом компьютерной томографии-ангиографии, в зависимости от степени острой ишемии нижних конечностей**

Table 4

**Distribution of signs detected by computed tomography-angiography depending on the degree of acute lower limb ischemia**

Степень острой ишемии нижних конечностей	Ангиографические признаки				Тканевые признаки				
	Состояние магистрального русла, n (%)	Восстановление контрастирования, n (%)	Наличие коллатеральной сети, n (%)	Протяженность окклюзии, n (%)	Проксимальный уровень окклюзии			Плотность мышечной ткани голени большой конечности	Инфильтративные изменения, n (%)
					ПБА и дистальнее, n (%)	ОБА-ГБА, n (%)	аорта – ОПА-НПА, n (%)		
1–2А (n=90)	окклюзия	56 (62)	72 (80)	43 (48)	67 (74)	9 (10)	14 (16)	55,52±11,1	29 (32)
2Б (n=34)	окклюзия	14 (41)	23 (68)	24 (70)	20 (59)	6 (18)	8 (24)	49,71±7,9	16 (47)
2В (n=24)	окклюзия	7 (29)	8 (33)	18 (75)	13 (54)	34 (17)	8 (29)	45,43±9,0	11 (46)
3А (n=15)	окклюзия	0	2 (13)	14 (93)	11 (73)	3 (20)	1 (7)	48,29±9,2	11 (73)

Примечания: ГБА – глубокая артерия бедра; НПА – наружная подвздошная артерия; ОБА – общая бедренная артерия; ОПА – общая подвздошная артерия; ПБА – поверхностная бедренная артерия

Nates: ГБА – deep artery of the thigh; НПА – external iliac artery; ОБА – common femoral artery; ОПА – common iliac artery; ПБА – superficial femoral artery

для определения причины и тяжести острого ишемического повреждения конечности. Ее использование способствует выбору оптимальной тактики лечения, решению вопроса о возможности и способах реваскуляризации для сохранения конечности или снижения уровня ампутации, а также своевременного планирования детоксикации.

**ВЫВОДЫ**

1. Компьютерная томографическая ангиография позволяет детально оценить уровень и выраженность окклюдированного поражения артериального русла и изучить сосудистую анатомию нижней конечности для решения вопроса о возможности реваскуляризации, а также косвенно характеризует наличие ишемических изменений в мягких тканях.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

- Dormandy J, Heeck L, Vig S. Acute limb ischemia. *Semin Vasc Surg.* 1999;12(2):148–153. PMID: 10777242
- Национальные рекомендации по диагностике и лечению заболеваний артерий нижних конечностей. Москва; 2019. URL: [https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2019/recommendations\\_LLA\\_2019.pdf](https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2019/recommendations_LLA_2019.pdf) [Дата обращения 12 октября 2022 г.]
- Dua A, Lee C. Epidemiology of Peripheral Arterial Disease and Critical Limb Ischemia. *J Techniq Vasc Interv Radiol.* 2016;19(2):91–95. PMID: 27423989 <https://doi.org/10.1053/j.tvir.2016.04.001>
- Харазов А.Ф., Каляев А.О., Исаев А.А. Распространенность симптомной ишемии нижних конечностей в Российской Федерации. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2016;7:58–61. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2016758-61>
- Foroni Casas AL. Acute Arterial Embolism of the Lower Limb. In: Stawicki SP, Swaroop M, Firstenberg MS. (eds.) *Embollic Diseases – Evolving Diagnostic and Management Approaches.* Norderstedt, Germany: BoD – Books on Demand; 2020. Ch.5. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84396> Available at: <https://www.intechopen.com/chapters/66190> [Accessed October 12, 2022].
- Padberg FT, Hobson RW II. Fasciotomy in acute limb ischemia. *Semin Vasc Surg.* 1992;5:52.
- Чернявский М.А., Неверов В.А., Сусанин Н.В., Соловьев В.А., Белова Ю.К., Казанцев А.Н. Реваскуляризация при поражении артерий аортоподвздошного сегмента. Обзор литературы и клинические примеры. *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь».* 2021;10(4):760–768. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2021-10-4-760-768>
- Прозоров С.А., Белозеров Г.Е. Современное значение рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения больных с острой патологией аорты. *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь».* 2013;1:46–49.
- Fleischmann D, Hallett RL, Rubin GD. CT Angiography of Peripheral Arterial Disease. *J Vasc Interv Radiol.* 2006;17(1):3–26. PMID: 16415129 <https://doi.org/10.1097/01.RVI.0000191361.02857.DE>
- Horehledova B, Mihal C, Milanese G, Brans R, Eijssvoegel NG, Hendriks, et al. CT Angiography in the Lower Extremity Peripheral Artery Disease Feasibility of an Ultra-Low Volume Contrast Media Protocol. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2018;41(11):1751–1764. PMID: 29789875 <https://doi.org/10.1007/s00270-018-1979-z>
- Lim JC, Ranatunga D, Owen A, Spelman T, Galea M, Chuen J, et al. Multidetector (64+) computed tomography angiography of the lower limb in symptomatic peripheral arterial disease: Assessment of image quality and accuracy in a tertiary care setting. *J Comput Assist Tomogr.* 2017;41(2):327–333. PMID: 27755721 <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000494>
- Кудрявцева А.В., Труфанов Г.Е., Ерофеева А.А. Компьютерно-томографическая ангиография в диагностике облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей. *Реферативный Журнал Лучевой Диагностики.* 2012;2(S2):291–292. URL: <http://www.rejr.ru/past-issues.html> [Дата обращения 12 октября 2022 г.]
- Шорина Я.Е., Филиппова И.А. Спиральная компьютерная томография с ангиографией в диагностике и планировании тактики лечения заболеваний артерий нижних конечностей. *Реферативный Журнал Лучевой Диагностики.* 2012;2(S2):674–674. URL: <http://www.rejr.ru/past-issues.html> [Дата обращения 12 октября 2022 г.]
- Кудряшова Н.Е., Синякова О.Г., Михайлов И.П., Мигунова Е.В., Лещинская О.В. Радионуклидная семиотика ишемии при острых окклюзионных заболеваниях магистральных артерий нижних конечностей. *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь».* 2019;8(3):257–265. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2019-8-3-257-265>
- Kalogeris T, Baines CP, Krenz M, Korthuis RJ. Cell Biology of Ischemia/Reperfusion Injury. *Int Rev Cell Mol Biol.* 2012;298:229–317. PMID: 22878108 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394509-5.00006-7>
- Небылицин Ю.С., Лазуко С.С., Кутько Е.А. Синдром ишемии-реперфузии нижних конечностей. *Вестник ВГМУ.* 2018;17(6):18–31. <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2018.6.18>
- Маршалов Д.В., Петренко А.П., Глушач И.А. Реперфузионный синдром: понятие, определение, классификация. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2008;3:67–72.
- Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MT, Mazur M, Telser J. Free radicals and antioxidants in normal functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol.* 2007;39(1):44–84. PMID: 16978905
- Савельев В.С., Затевахин И.И., Фролов В.К., Вагнер Т.Е. Критерии степени ишемии и оценка жизнеспособности тканей нижних конечностей при острой артериальной непроходимости. *Вестник АМН СССР.* 1980;5:74–81.

20. Светлов К.В., Свирщевский Е.Б., Трофимов Е.И., Филиппов В.В., Адрианов С.О., Родионова Т.В. Оценка состояния регионального кровообращения в реплантационных сегментах верхней конечности. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2015;7:49–56. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2015749-56>
21. Matsuo S, Nakajima K, Kinuya S. Evaluation of Cardiac Mitochondrial Function by a Nuclear Imaging Technique using Technetium-99m-MIBI

- Uptake Kinetics. *Asia Ocean J Nucl Med Biol*. 2013;1(1):39–43. PMID: 27408841 <https://doi.org/10.7508/aojnmb.2013.01.008>
22. Blebea J, Kerr JC, Franco CD, Padberg FT Jr, Hobson RW 2nd. Technetium 99m pyrophosphate quantitation of skeletal muscle ischemia and reperfusion injury. *J Vasc Surg*. 1988;8(2):117–124. PMID: 2840521 [https://doi.org/10.1016/0741-5214\(88\)90397-7](https://doi.org/10.1016/0741-5214(88)90397-7)

## REFERENCES

- Dormandy J, Heeck L, Vig S. Acute limb ischemia. *Semin Vasc Surg*. 1999;12(2):148–153. PMID: 10777242
- Natsional'nye rekomendatsii po diagnostike i lecheniyu zabolevaniy arteriy nizhnikh konechnostey. Moscow; 2019. (In Russ.) Available at: [https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2019/recommendations\\_LLA\\_2019.pdf](https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2019/recommendations_LLA_2019.pdf) [Accessed Oct 12, 2022]
- Dua A, Lee C. Epidemiology of Peripheral Arterial Disease and Critical Limb Ischemia. *J Techniq Vasc Interv Radiol*. 2016;19(2):91–95. PMID: 27423989 <https://doi.org/10.1053/j.tvir.2016.04.001>
- Kharazov AF, Kalyev AO, Isaev AA. PAD prevalence in Russian Federation. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2016;(7):58–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia2016758-61>
- Foroni Casas AL. Acute Arterial Embolism of the Lower Limb. In: Stawicki SP, Swaroop M, Firstenberg MS. (eds.) *Embollic Diseases» – Evolving Diagnostic and Management Approaches*. Norderstedt, Germany: BoD – Books on Demand; 2020. Ch.5. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84396> Available at: <https://www.intechopen.com/chapters/66190> [Accessed Oct 12, 2022].
- Padberg FT, Hobson RW II. Fasciotomy in acute limb ischemia. *Semin Vasc Surg*. 1992;5:52.
- Kalogeris T, Baines CP, Krenz M, Korhuthus RJ. Cell Biology of Ischemia/Reperfusion Injury. *Int Rev Cell Mol Biol*. 2012;298:229–317. PMID: 22878108 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394309-5.00006-7>
- Nebylitsin YS, Lazuko SS, Kut'ko EA. Ischemia-Reperfusion Syndrome of Lower Limbs. *Vitebsk Medical Journal*. 2018;17(6):18–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2018.6.18>
- Marshall DV, Petrenko AP, Glushach IA. Reperfusion Syndrome: Notion, Definition, Classification. *Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2008;3:67–72. (In Russ.)
- Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MT, Mazur M, Telser J. Free radicals and antioxidants in normal functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol*. 2007;39(1):44–84. PMID: 16978905
- Chernyavsky MA, Neverov VA, Susanin NV, Soloviev VA, Belova YuK, Kazantsev AN. Revascularization in Lesion of Arteries of the Aortoiliac Arterial Segment. Literature Review and Clinical Examples. *Russian Sklifosovsky Journal Emergency Medical Care*. 2021;10(4):760–768. (In Russ.) <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2021-10-4-760-768>
- Prozorov SA, Belozherov GE. A Current Role of Endovascular Techniques in the Diagnosis and Treatment of Patients With Acute Aortic Pathology. *Russian Sklifosovsky Journal Emergency Medical Care*. 2013;(1):46–49. (In Russ.)
- Fleischmann D, Hallett RL, Rubin GD. CT Angiography of Peripheral Arterial Disease. *J Vasc Interv Radiol*. 2006;17(1):3–26. PMID: 16415129 <https://doi.org/10.1097/01.RVI.0000191361.02857.DE>
- Horehledova B, Muhl C, Milanese G, Brans R, Eijsvoogel NG, Hendriks, et al. CT Angiography in the Lower Extremity Peripheral Artery Disease Feasibility of an Ultra-Low Volume Contrast Media Protocol. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2018;41(11):1751–1764. PMID: 29789875 <https://doi.org/10.1007/s00270-018-1979-z>
- Lim JC, Ranatunga D, Owen A, Spelman T, Galea M, Chuen J, et al. Multidetector (64+) computed tomography angiography of the lower limb in symptomatic peripheral arterial disease: Assessment of image quality and accuracy in a tertiary care setting. *J Comput Assist Tomogr*. 2017;41(2):327–333. PMID: 27753721 <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000494>
- Kudryavtseva AV, Trufanov GE, Erofeeva AA. Komp'yuternotomograficheskaya angiografiya v diagnostike obliteriruyushchikh zabolevaniy arteriy nizhnikh konechnostey. *REJR*. 2012;2(S2):291–292. (In Russ.) Available at: <http://www.rejr.ru/past-issues.html> [Accessed Oct 12, 2022].
- Shorina YaE, Filippova IA. Spiral'naya komp'yuternaya tomografiya s angiografiy v diagnostike i planirovaniy taktiki lecheniya zabolevaniy arteriy nizhnikh konechnostey. *REJR*. 2012;2(S2):674–674. (In Russ.) Available at: <http://www.rejr.ru/past-issues.html> [Accessed Oct 12, 2022].
- Kudryashova NY, Sinyakova OG, Mikhaylov IP, Migunova EV, Leshchinskaya OV. Radionuclide Patterns of Ischemia in Acute Occlusive Diseases of Main Arteries of Lower Extremities. *Russian Sklifosovsky Journal Emergency Medical Care*. 2019;8(3):257–265. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2019-8-3-257-265>
- Savel'ev VS, Zatevakhin II, Frolov VK, Vagner TE. Kriterii stepeni ishemi i otsenka zhiznesposobnosti tkaney nizhnikh konechnostey pri ostroy arterial'noy neprokhodimosti. *Vestnik AMN SSSR*. 1980;5:74–81. (In Russ.)
- Svetlov KV, Svirshchevskij EB, Trofimov EI, Filippov VV, Adrianov SO, Rodionova TV. Estimation of regional blood flow in reimplanted segments of upper extremity. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2015;(7):49–56. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia2015749-56>
- Matsuo S, Nakajima K, Kinuya S. Evaluation of Cardiac Mitochondrial Function by a Nuclear Imaging Technique using Technetium-99m-MIBI Uptake Kinetics. *Asia Ocean J Nucl Med Biol*. 2013;1(1):39–43. PMID: 27408841 <https://doi.org/10.7508/aojnmb.2013.01.008>
- Blebea J, Kerr JC, Franco CD, Padberg FT Jr, Hobson RW 2nd. Technetium 99m pyrophosphate quantitation of skeletal muscle ischemia and reperfusion injury. *J Vasc Surg*. 1988;8(2):117–124. PMID: 2840521 [https://doi.org/10.1016/0741-5214\(88\)90397-7](https://doi.org/10.1016/0741-5214(88)90397-7)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## Лещинская Ольга Валериевна

научный сотрудник, врач-рентгенолог отделения радиоизотопной диагностики ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;

<https://orcid.org/0000-0002-6997-1986>, o.leshchinskay@icloud.com;

40%: сбор материала согласно дизайну исследования, анализ полученных данных, подготовка текста статьи

## Кудряшова Наталья Евгеньевна

доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отделения лучевой диагностики ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;

<https://orcid.org/0000-0003-1647-1635>, numedsklif@mail.ru;

20%: разработка концепции и дизайна исследования, анализ полученных данных, редактирование текста статьи

## Михайлов Игорь Петрович

доктор медицинских наук, профессор, заведующий научным отделением неотложной сосудистой хирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;

<https://orcid.org/0000-0003-0265-8685>, dr\_mip@mail.ru;

15%: разработка концепции и дизайна исследования, анализ полученных данных, редактирование текста статьи

## Хамидова Лайла Тимарбековна

доктор медицинских наук, руководитель научного отдела лучевой диагностики ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;

<https://orcid.org/0000-0001-6299-4077>, khamidovalt@sklif.mos.ru;

5%: разработка концепции исследования, редактирование текста статьи

- Коков Леонид Сергеевич** академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель отдела неотложной кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;  
<https://orcid.org/0000-0002-3167-3692>, [lskokov@mail.ru](mailto:lskokov@mail.ru);  
 5%: разработка концепции исследования, редактирование текста статьи
- Ерошкин Иван Анатольевич** доктор медицинских наук, профессор, заведующий научным отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;  
<https://orcid.org/0000-0002-2112-7567>, [ivaner@yandex.ru](mailto:ivaner@yandex.ru);  
 5%: редактирование текста статьи
- Козловский Борис Васильевич** младший научный сотрудник, врач сердечно-сосудистой хирургии отделения сосудистой хирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;  
<https://orcid.org/0000-0001-9023-5863>, [boris.v.kozlovskiy@mail.ru](mailto:boris.v.kozlovskiy@mail.ru);  
 5%: сбор материала согласно дизайну исследования, анализ полученных данных
- Кислухина Евгения Викторовна** старший научный сотрудник лаборатории АСУ лечебно-диагностическим процессом ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;  
<https://orcid.org/0000-0002-8980-4931>, [kislukhinaev@sklif.mos.ru](mailto:kislukhinaev@sklif.mos.ru);  
 5%: статистическая обработка данных
- Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов**

## Possibilities of the Hybrid Method (Three-Phase Scintigraphy-SPECT/CT-Angiography) in the Diagnosis and Staging of Acute Lower Limb Ischemia

**O.V. Leshchinskaya** ✉, **N.Y. Kudryashova**, **I.P. Mikhailov**, **L.T. Khamidova**, **L.S. Kokov**, **I.A. Yeroshkin**, **B.V. Kozlovsky**, **E.V. Kislukhina**

Department of Radiation Diagnostics  
 N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine  
 3, B. Sukharevskaya sq., Moscow, 129090, Russian Federation

✉ **Contacts:** Olga V. Leshchinskaya, Radiologist of the Department of Radioisotope Diagnostics of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine.  
 Email: [o.leshchinskay@icloud.com](mailto:o.leshchinskay@icloud.com)

**ABSTRACT** Acute lower limb ischemia (ALLI) is a limb threatening condition with high risk of adverse outcomes. The timely and proper diagnosis of the severity of limb ischemia is crucial in selecting the optimal treatment method.

**AIM OF STUDY** To evaluate the advantages of hybrid imaging in diagnosis of ALLI, patient selection and its severity in order to choose an optimal revascularization method.

**MATERIAL AND METHODS** we examined 163 patients with grade 1–3A ALLI based on I.I. Zatevakhin et al. classification (2002) on a Discovery 670 NM/CT hybrid device, using X-ray (computed tomographic angiography) and radionuclide method (three-phase scintigraphy/single photon emission computed tomography with osteotropic or perfused radiopharmaceutical).

**RESULTS** CT angiography accurately showed level of acute occlusion as well as distal arterial blood flow in all ALLI cases, thus allowing optimal choice of possible revascularization. CT angiography findings alone did not allow optimal staging of ALLI, which is essential for choosing an optimal revascularization method and were considered as supplementary. Three-phase scintigraphy allowed to differentiate the degrees of ALLI based on the visual picture and calculated data, while studies with osteotropic radiopharmaceutical <sup>99m</sup>Tc-PYP provided information on viability of affected tissues showing the areas of muscle necrosis, compared to perfused radiopharmaceutical.

**CONCLUSION** 1. CT angiography makes it possible to assess in detail the level and severity of occlusive lesions of the arterial system and study the vascular anatomy of the lower limb to resolve the issue of the possibility of revascularization, and also indirectly characterizes the presence of ischemic changes in soft tissues.

2. The radionuclide method (three-phase scintigraphy with an osteotropic radiopharmaceutical/single photon emission computed tomography), performed in addition to computed tomographic angiography, allows not only to detect the presence of ischemic changes in soft tissues, but also to differentiate the degree of acute ischemia of the lower extremities.

3. The hybrid method (three-phase scintigraphy in combination with computed tomographic angiography) contributes to an objective assessment of the state of blood flow in the lower extremities in acute ischemia, both at the main and at the microcirculatory levels.

**Keywords:** hybrid method, acute lower limb ischemia, CT angiography, impaired tissue perfusion

**For citation** Leshchinskaya OV, Kudryashova NY, Mikhailov IP, Khamidova LT, Kokov LS, Yeroshkin IA, et al. Possibilities of the Hybrid Method (Three-Phase Scintigraphy-SPECT/CT-Angiography) in the Diagnosis and Staging of Acute Lower Limb Ischemia. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2022;11(4):550–560. DOI: 10.23934/2223-9022-2022-11-4-550-560 (In Russ.)

**Conflict of interest** Authors declare lack of the conflicts of interests

**Acknowledgments, sponsorship** The study has no sponsorship

### Affiliations

Olga V. Leshchinskaya Anesthesiologist, Radiologist of the Department of Radioisotope Diagnostics of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;  
<https://orcid.org/0000-0002-6997-1986>, [o.leshchinskay@icloud.com](mailto:o.leshchinskay@icloud.com);  
 40%, material collection, data analysis, text preparation

Natalia Y. Kudryashova Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher of the Department of Radiation Diagnostics of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;  
<https://orcid.org/0000-0003-1647-1635>, [numedsklif@mail.ru](mailto:numedsklif@mail.ru);  
 20%, development of the concept and design of the study, analysis of the data obtained, editing

- Igor P. Mikhailov Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Scientific Department of Emergency Vascular Surgery of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;  
<https://orcid.org/0000-0003-0265-8685>, [dr\\_mip@mail.ru](mailto:dr_mip@mail.ru);  
15%, development of the concept and design of the study, analysis of the data obtained, editing
- Laila T. Khamidova Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Diagnostic Radiology of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;  
<https://orcid.org/0000-0001-6299-4077>, [khamidovalt@sklif.mos.ru](mailto:khamidovalt@sklif.mos.ru);  
5%, development of the research concept, editing
- Leonid S. Kokov Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Emergency Cardiology and Cardiovascular Surgery of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;  
<https://orcid.org/0000-0002-3167-3692>, [lskokov@mail.ru](mailto:lskokov@mail.ru);  
5%, development of the research concept, editing
- Ivan A. Yeroshkin Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Head of the Scientific Department of X-ray Surgical Methods of Diagnosis and Treatment of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;  
<https://orcid.org/0000-0002-2112-7567>, [ivaner@yandex.ru](mailto:ivaner@yandex.ru);  
5%, editing the article
- Boris V. Kozlovsky Cardiovascular Surgeon of the Department of Vascular Surgery of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;  
<https://orcid.org/0000-0001-9023-5863>, [boris.v.kozlovskiy@mail.ru](mailto:boris.v.kozlovskiy@mail.ru);  
5%, collection of material, analysis of the data obtained
- Evgeniya V. Kislukhina Senior Researcher of the Laboratory of the Automated Control System for the Therapeutic and Diagnostic Process of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine;  
<https://orcid.org/0000-0002-8980-4931>, [kislukhinaev@sklif.mos.ru](mailto:kislukhinaev@sklif.mos.ru);  
5%, statistical data processing

Received on 22.09.2022

Review completed on 23.09.2022

Accepted on 27.09.2022

Поступила в редакцию 22.09.2022

Рецензирование завершено 23.09.2022

Принята к печати 27.09.2022