

Дооперационная визуализация периферических артерий с применением ультразвукового дуплексного сканирования у пациентов с сахарным диабетом и критической ишемией нижних конечностей

Бондаренко О.Н., Аюбова Н.Л., Галстян Г.Р., Дедов И.И.

ФГБУ Эндокринологический научный центр, Москва
(директор — академик РАН и РАМН И.И. Дедов)

Цель. Оценить возможность проведения чрескожной транслюминальной баллонной ангиопластики (ЧТБА) артерий нижних конечностей у больных сахарным диабетом (СД) и критической ишемией нижних конечностей (КИНК) на основании данных ультразвукового дуплексного сканирования (УЗДС) без проведения диагностической рентгеноконтрастной ангиографии (РКАГ).

Материалы и методы. Обследовано 254 пациента (290 конечностей) с СД и КИНК. Все пациенты были разделены на 2 группы. В группе А в первой фазе исследования ЧТБА выполнена 132 пациентам с проведением дооперационной РКАГ. Во второй фазе исследования 122 пациентам ЧТБА баллонная ангиопластика артерий нижних конечностей была выполнена на основании данных УЗДС без дополнительного проведения РКАГ (группа Б). В исследовании оценивались согласованность результатов УЗДС и ангиографии (дооперационной/интраоперационной), диагностическая специфичность (ДС) и диагностическая чувствительность (ДЧ) дуплексного сканирования в определении уровня и локализации сосудистого поражения. Также были исследованы клинические факторы, влияющие на диагностическую точность УЗДС артерий нижних конечностей у больных СД.

Результаты. В работе было показано оптимальное соответствие между УЗДС и РКАГ. Во второй фазе исследования согласованность, ДС и ДЧ УЗДС были достоверно выше для нижней трети поверхностной бедренной артерии и артерий голени, несмотря на наличие клинических факторов, затрудняющих визуализацию, таких как абдоминальное ожирение, выраженный кальциноз сосудистой стенки и периферические отеки.

Заключение. Эффективная и точная ультразвуковая диагностика сосудистых поражений нижних конечностей позволяет определить выбор тактики эндоваскулярного вмешательства у пациентов с СД и КИНК без проведения дооперационной инвазивной визуализации сосудов в большинстве случаев.

Ключевые слова: ультразвуковое дуплексное сканирование, критическая ишемия нижних конечностей, чрескожная транслюминальная баллонная ангиопластика, сахарный диабет

Preoperative visualization of peripheral arteries with duplex ultrasonography in patients with diabetes mellitus and critical limb ischemia

Bondarenko O.N., Ayubova N.L., Galstyan G.R., Dedov I.I.
Endocrinology Research Centre, Moscow, Russian Federation

Aim: To determine whether duplex ultrasonography (DU) without verification with diagnostic angiography (DA) is a sufficient visualization technique for pre-operative examination of patients with CLI (critical limb ischemia) indication for percutaneous transluminal balloon angioplasty (PTBA).

Materials and Methods: We examined 254 patients (290 limbs in total) with diabetes mellitus (DM) and CLI. All participants were subdivided into two groups: "A" (PTBA with pre-operative DU+DA) and "B" (PTBA with pre-operative DU). We evaluated data coherence between DU and DA (pre- or intraoperative) methods, as well as DU diagnostic specificity and sensitivity in determining degree and localization of vascular lesions. We also investigated specific clinical factors compromising DU diagnostic capabilities in patients with DM.

Results: Our data suggests adequate coherence between DU and DA for pre-operative visualization. Group "B" showed significantly higher diagnostic sensitivity and specificity for visualization of the lower third of superficial femoral artery and tibial arteries despite abdominal obesity, grossly evident calcification and peripheral edema.

Conclusion: Duplex ultrasound is efficient and precise enough to determine optimal management tactics in most patients with DM and CLI without resort to invasive methods.

Keywords: duplex ultrasonography, critical limb ischemia, percutaneous transluminal angioplasty, diabetes mellitus

Рентгеноконтрастная ангиография (РКАГ) является наиболее информативным современным методом диагностики заболеваний периферических артерий (ЗПА), представляя полную информацию об анатомическом расположении артерий нижних конечностей, одновременной визуализации сосудистого русла на всем протяжении, локализации и протяженности окклюзирующих поражений [1]. Основным недостатком метода является инвазивность, которая может привести к ряду сосудистых осложнений вмешательства. Данная техника сопряжена с лучевой нагрузкой на пациента и интервенционного хирурга [2]. Применение РКАГ у пациентов с сахарным диабетом (СД) значительно повышает риск развития контраст-индуцированной нефропатии и прогрессирования хронической болезни почек (ХБП) [3, 4]. Тяжелая сердечно-сосудистая недостаточность, часто встречающаяся у больных СД и критической ишемией нижних конечностей (КИНК), обуславливает повышенный риск послеоперационных осложнений и летальности. Поэтому диагностика КИНК с использованием контрастных препаратов у таких больных строго ограничена. Кроме того, недостатком метода РКАГ являются технические ограничения, связанные с невозможностью оценить состояние сосудистой стенки и функциональные параметры кровотока, а также неудовлетворительное контрастирование артерий дистальнее уровня окклюзии из-за низкой скорости кровотока [5, 6]. В настоящее время тактика интервенционного вмешательства у пациентов с СД и КИНК все чаще определяется данными ультразвукового дуплексного сканирования (УЗДС) [7–17]. УЗДС в сравнении с другими методами визуализации имеет ряд преимуществ у больных СД с сопутствующими тяжелыми микро- и макрососудистыми осложнениями: неинвазивность, отсутствие токсического влияния рентгеноконтрастного препарата и возможность многократного повторения исследования [17, 18]. Кроме того, следует учитывать, что стоимость УЗДС намного ниже в сравнении с РКАГ и другими методами визуализации артериального русла [19]. Существенным недостатком метода УЗДС является зависимость от квалификации специалиста.

Цель исследования: оценить возможность проведения чрескожной транслуминальной баллонной ангиопластики (ЧТБА) у больных СД и КИНК на основании данных УЗДС без проведения диагностической РКАГ.

Материалы и методы

Обследовано 254 пациента (290 конечностей) с СД и КИНК, поступивших в отделение диабетической стопы ФГБУ ЭНЦ с сентября 2010 по январь 2012 г. Тактика диагностики поражений артерий нижних конечностей и необходимость в проведении дооперационной РКАГ определялась в зависимости от точности ультразвуковой визуализации. Все пациенты были разделены на 2 группы. В первой фазе исследования (сентябрь 2010 г. – февраль 2011 г.) эндоваскулярное вмешательство выполнено у 132 пациентов (144 нижние конечности).

Оценка проходимости периферических артерий у этих больных (группа А) проводилась с применением УЗДС и последующей дооперационной РКАГ в связи с недостаточной информативностью протокола ультразвукового заключения и необходимостью более точной топической диагностики сосудистых поражений. Во второй фазе исследования (март 2011 г. – январь 2012 г.) 122 пациентам (146 нижних конечностей) ЧТБА была выполнена на основании данных УЗДС без дополнительного проведения РКАГ (группа Б). 7 пациентам с многоуровневыми поражениями, включая аорто-подвздошный и берцово-стопный сегменты, проводилось дополнительное уточняющее исследование артериальной проходимости. Перед открытым хирургическим вмешательством 4 из них выполнялась диагностическая РКАГ, 2 пациентам – мультиспиральная компьютерная ангиография и 1 пациенту – магнитно-резонансная ангиография. В дальнейшем этим больным проводилась ЧТБА артерий голени.

Всеми больными подписывалось информированное согласие.

Хроническая артериальная недостаточность на стадии критической ишемии пораженной конечности диагностирована согласно критериям TASC II [1]. При наличии специфических признаков ишемии, асимметрии или отсутствии пульсации на артериях стопы проводилось измерение лодыжечно-плечевого индекса (ЛПИ), транскутанная оксиметрия и УЗДС артерий нижних конечностей. Алгоритм диагностики и выбор тактики лечения КИНК у больных СД представлен на рис. 1.

Измерение ЛПИ проводилось в положении пациента лежа на спине после 10-минутного состояния покоя. С использованием доплеровского датчика (5–10 МГц) выполнялось измерение систолического давления на задней большеберцовой артерии (ЗББА) и тыльной артерии стопы (ТАС). ЛПИ рассчитывался как отношение наибольшего систолического давления на ЗББА или ТАС

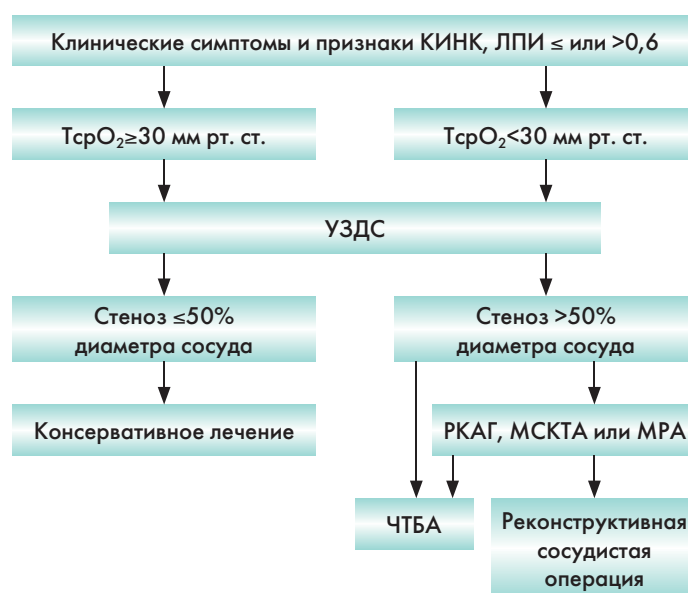


Рис. 1. Алгоритм диагностики и выбора тактики лечения КИНК у больных СД.

к наибольшему систолическому давлению на плечевой артерии правой или левой верхней конечности. Оценка результатов измерения проводилась согласно современным рекомендациям [1, 20, 21].

Транскутанная оксиметрия проводилась с применением транскутанного оксиметра RADIOMETER (Copenhagen). Измерение чрескожного напряжения кислорода (TcPO_2) проводилось на коже тыльной поверхности стопы с равномерным капиллярным ложе без крупных артерий и вен, язвенных дефектов или волосяного покрова. Пациент во время исследования находился в положении лежа на спине в спокойном и расслабленном психоэмоциональном состоянии. Температура в помещении, где проводилось исследование, составляла 21–23°C. Перед началом исследования выполнялась калибровка электрода атмосферным воздухом. Электрод устанавливался в фиксирующее кольцо на коже после предварительной обработки 95% раствором этилового спирта. Полость фиксирующего кольца предварительно заполнялась раствором электролита (2–3 капли). Затем датчик устанавливался в фиксирующее кольцо на кожу. Регистрация показателей TcPO_2 после установки датчика на кожу проводилась при их стабилизации через 15–20 минут и достижении температуры кожи 43°C.

УЗДС артерий нижних конечностей проводилось на ультразвуковой системе Voluson 730® Expert (GE Medical Systems Kretztechnik GmbH & Co OHG, Austria) с применением линейного датчика с частотой излучения 5–7,5 МГц и конвексного датчика с частотой излучения 3,5 МГц. Обследование артерий нижних конечностей выполнялось в положении пациента лежа на спине и животе с приподнятым под углом 30 градусов головным концом кушетки. Перед исследованием аорты и подвздошных артерий пациенту назначалось голодание в течение 12 ч для уменьшения кишечных артефактов. Оценка проходимости артерий проводилась при продольном и поперечном сканировании с использованием двухмерного изображения в В-режиме, цветового и энергетического картирования кровотока, а также импульсволновой доплерографии. Исследовалось состояние сосудистой стенки, локализация, протяженность, степень и характер стеноза и окклюзии. Для определения выраженности обструктивного процесса в артериях нижних конечностей проводился спектральный анализ. Использовались общепринятые критерии для классификации сегментарных артериальных окклюзирующих поражений, основанные на нормальных и патологических характеристиках доплеровского спектра. При выявлении гемодинамически незначимого стеноза (<50%) регистрировалось повышение пиковой систолической скорости (ПСС) кровотока менее чем в 2 раза. Прирост ПСС более чем в 2 раза указывал на гемодинамически значимый умеренный стеноз 50–70%. Увеличение ПСС более чем в 3 раза соответствовало стенозу порядка 70–99%. При окклюзии кровотока в исследуемом сосуде не определялся в режиме цветового и энергетического картирования, не регистрировался в режиме доплерографии [9, 14, 17, 22, 23]. Ультразвуковое ис-

следование артерий нижних конечностей проводилось на всем доступном визуализации протяжении от аорты до тыльной артерии стопы. Для локализации уровня поражений использовалась градация на сегменты: аорто-подвздошный, бедренно-подколенный, голень и стопу. Проходимость поверхностной бедренной артерии (ПБА), подколенной артерии (ПА) и тибиальных артерий оценивалась пошагово от устья в проксимальном, среднем и дистальном отделах. Особенное внимание уделялось окклюзирующим поражениям артерий голени, наиболее часто встречающимся у больных СД.

РКАГ и ЧТБА артерий нижних конечностей проводилась с использованием ангиографической системы SIEMENS AXIOM Artis Dfc в течение 1 недели после выполнения УЗДС. Для оценки степени стеноза были использованы диагностические критерии, как и при УЗДС: гемодинамически незначимые стенозы <50% диаметра сосуда, гемодинамически значимые стенозы – 50–70% и 70–99% соответственно и окклюзии.

Статистический анализ соответствия между УЗДС и РКАГ проводился с помощью индекса согласованности, или коэффициента каппа Коэна: $K < 0,1$ – низкая согласованность; $K = 0,1–0,4$ – умеренная согласованность; $K = 0,41–0,6$ – средняя согласованность; $K = 0,61–0,8$ – высокая согласованность; $K = 0,81–1,00$ – очень высокая или абсолютная согласованность [24]. Для оценки чувствительности и специфичности метода УЗДС рентгеноконтрастная ангиография использовалась как «золотой стандарт». Для оценки количественных величин применялся t-критерий. Качественные, дискретные количественные и количественные непрерывные величины при ненормальном распределении оценивались методом непараметрической статистики: критерий χ^2 . Расчеты прогностической значимости и диагностической значимости выполнялись с использованием таблицы сопряженности 2x2. Результат или разница значений считался достоверным при уровне значимости <0,05. Статистический анализ проводился с использованием статистического пакета программ Statistica 6.0.

Результаты

Клинико-демографическая характеристика пациентов представлена в таблице 1. Число обследованных больных 254, из них 128 мужчин и 126 женщин. Средний возраст составил $62,7 \pm 14$ года. СД 1 типа (СД 1) диагностирован у 25 (10%) пациентов, СД 2 типа (СД 2) – у 229 (90%). Состояние углеводного обмена свидетельствовало о выраженной декомпенсации СД согласно показателям среднего уровня гликированного гемоглобина $8,1 \pm 1,1\%$. Более половины пациентов имели тяжелую форму диабетической полинейропатии (ДПН) – 147 (58%) и 95 (37%) страдали ожирением (ИМТ > 30). Из сопутствующих сердечно-сосудистых заболеваний у 54 (19%) пациентов в анамнезе был острый инфаркт миокарда (ОИМ), у 43 (17%) – острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК) соответственно. У большинства пациентов диагностированы тяжелые

Таблица 1

Клинико-демографическая характеристика пациентов

Параметры	Всего	Группа А	Группа Б	p
Число пациентов/н/конечностей	254/290	132/144	122/146	ns
Тип СД 1/2, n (%)	25/229 (10/90)	9/123 (7/93)	16/106 (13/87)	Ns
Мужской пол, n (%)	128 (51)	69 (52)	59 (48)	Ns
Возраст, годы	62,7 [55–68]	61 [56–70]	64,4 [55–72]	Ns
Длительность СД, годы	16,5 [12–19]	17 [15–22]	16 [13–21]	Ns
HbA _{1c} %	8,1 [6,6–9,1]	8,0 [6,5–8,9]	8,3 [6,6–9,0]	ns
Инсулинотерапия, n (%)	212 (83)	110 (83)	102 (84)	ns
ОИМ, n (%)	54 (19)	28 (21)	26 (21)	ns
ОНМК, n (%)	43 (17)	18 (14)	25 (21)	ns
Курение в анамнезе, n (%)	74 (29)	41 (31)	34 (28)	ns
ИМТ>30 кг/м ² , n (%)	95 (37)	50 (38)	45 (37)	ns
Диабетическая ретинопатия II–III ст., n (%)	68 (27)	29 (22)	39 (32)	<0,05
ХБП (всего), n (%)	152 (60)	58 (40)	75 (51)	ns
ХБП 3 (СКФ<60 мл/мин/1,73м ²), n (%)	48 (19)	18 (13,5)	30 (25)	<0,05
ХБП 4 (СКФ<30 мл/мин), n (%)	7 (3)	2 (1,5)	5 (4)	ns
Программный гемодиализ, n (%)	13 (5)	4 (3)	12 (10)	<0,05
Трансплантация почки, n (%)	5 (2)	1 (1)	4 (3)	ns
ДПН III ст., n (%)	147 (58)	74 (56)	73 (60)	ns
ЛПИ≤0,6, n (%)	91 (36)	45 (34)	46 (38)	ns
ЛПИ>0,9, n (%)	76 (30)	34 (26)	42 (34)	ns
Несжимаемые артерии, n (%)	54 (19)	19 (15)	35 (29)	ns
Окклюзии ТАС/ЗББА в дистальных отделах, n (%)	47/248 (16/86)	22/120 (15/83)	25/128 (17/87)	ns
Перебегающая хромота, n (%)	34 (11)	24 (17)	10 (7)	<0,05
Малосимптомное течение КИНК/боль в покое, n (%)	23/28 (8/10)	12/10 (8/7)	11/18 (8/12)	ns
Язвенный дефект/гангрена, n (%)	203 (70)	97 (68)	106 (73)	<0,05
ТсрО ₂ до проведения ЧТБА, мм рт.ст.	14,8 [10–19]	15,2 [10–21]	14,3 [9–17]	ns
ТсрО ₂ на 5–7 день после проведения ЧТБА, мм рт.ст.	35,2 [31–38]	36,2 [30–37]	34,1 [30–39]	ns

ns (not significant) – при p > 0,05

микрососудистые осложнения СД. Диабетическая пре-пролиферативная и пролиферативная ретинопатия выявлена у 68 (27%) пациентов. ХБП имела у 152 (60%) пациентов, из них у 70 (27%) – скорость клубочковой фильтрации (СКФ) составила <60 мл/мин/1,73м². Заместительную почечную терапию программным гемодиализом получали 13 (5%) больных, трансплантация донорской почки ранее была выполнена у 5 (2%) пациентов.

При использовании критериев соответствия тяжести критической ишемии значениям ЛПИ, предложенных Американской ассоциацией кардиологов [25], было выявлено, что у 76 (30%) пациентов значения ЛПИ соответствовали нормальным или были повышены, в то время как у 254 (88%) обследованных пациентов был установлен диагноз КИНК. При этом значения ЛПИ≤0,6, соответствующие выраженной ишемии конечности [26], были зарегистрированы только у 91 (36%) больного. У 54 (19%) пациентов измерение систолического давления не представлялось возможным из-за ригидности артерий голени, а у 47 (16%) измерение ЛПИ было невозможным из-за окклюзии ТАС и у 248 (86%) из-за окклюзии дистальных отделов ЗББА.

В нашем исследовании в структуре тяжести ЗПА, согласно классификации Рутерфорда [27], преобладали пациенты с КИНК и язвенными дефектами стоп.

Так, у 203 (70%) пациентов имелись длительно незаживающие раневые дефекты на стопе, нередко осложненные инфекцией, а также гангрена 1 или нескольких пальцев. Таким образом, первое обращение за лечебной помощью происходило у таких больных уже на терминальной стадии критической ишемии, когда возникала реальная угроза высокой ампутации конечности. У 34 (11%) пациентов выявлена тяжелая перемежающаяся хромота – 3 категория поражений по Рутерфорду, и 28 (10%) больных жаловались на выраженную боль в покое – 4 категория соответственно. У некоторых больных было отмечено малосимптомное течение КИНК при наличии объективных признаков ишемии конечности. Боли покоя у 23 (8%) пациентов с КИНК отсутствовали или имели стертый характер, что объясняется сопутствующей дистальной полинейропатией и снижением болевой чувствительности. Кроме того, было выявлено увеличение количества пациентов с КИНК и трофическими нарушениями на стопе в течение последних 2 лет исследования относительно предыдущего периода наблюдения.

По данным транскутанной оксиметрии исходно средний уровень парциального напряжения кислорода составил 14,8 [10–19] мм рт.ст. После проведения ЧТБА на 5–7 сутки отмечен прирост показателя ТсрО₂ до 35,2 [31–38] мм рт.ст., отражающий разрешение КИНК.

Таблица 2

Распределение стенозов ($\geq 50\%$) и окклюзий артерий нижних конечностей по данным УЗДС и/или дооперационной РКАГ в группе А и интраоперационной РКАГ в группе Б

Артерии	Группа А (144 нижние конечности)		Группа Б (146 нижних конечностей)		p1	p2
	Стенозы, n (%)	Окклюзии, n (%)	Стенозы, n (%)	Окклюзии, n (%)		
ОПА	9 (6)	1 (1)	11 (8)*	4 (3)*	>0,05	>0,05
НПА	8 (6)	1 (1)	5 (3)*	1 (1)*	>0,05	>0,05
ОБА	9 (6)	4 (3)	11 (8)	5 (3)	>0,05	>0,05
ГАБ	4 (3)	1 (1)	4 (3)	1 (1)	>0,05	>0,05
ПБА	26 (20)	49 (33)	21 (16)	56 (38)	>0,05	>0,05
ПА	49 (37)	22 (16)	40 (30)	36 (25)	>0,05	>0,05
ПББА	49 (37)	109 (75)	50 (38)	116 (79)	>0,05	>0,05
ЗББА	20 (15)	120 (83)	25 (19)	128 (87)	>0,05	>0,05
МБА	18 (14)	69 (48)	21 (16)	74 (51)	>0,05	>0,05
ТАС	59 (45)	22 (15)	57 (43)	25 (17)	>0,05	>0,05

*данные УЗДС, при интраоперационной РКАГ визуализация аорто-подвздошного сегмента не проводилась

У всех пациентов с СД и КИНК выявлены гемодинамически значимые стенозы и окклюзии артерий голени. В 43% случаев (125 нижних конечностей) имелись многоуровневые окклюдизирующие поражения бедренно-подколенного и берцово-стопного сегментов при относительно интактных подвздошных артериях. Только у 7 (2,4%) больных выявлены наряду с дистальными поражениями окклюзии подвздошных артерий (табл. 2). Было отмечено преобладание протяженных окклюзий артерий нижних конечностей относительно стенозов, характерных для тяжелого течения ЗПА у больных СД.

Тяжесть поражения артерий нижних конечностей оценивалась также с применением морфологической картины согласно классификации Л. Грациани [28], используемой большинством эндоваскулярных хирургов для решения вопроса о возможности и тактике интервенционного вмешательства. В нашем исследовании в обеих группах пациентов преобладал дистальный тип поражения артериального кровотока, то есть окклюзии 2–3 артерий и множественные стенозы берцовых артерий. Однако в группе Б характер стено-окклюдизирующих изменений артерий нижних конечностей указывал

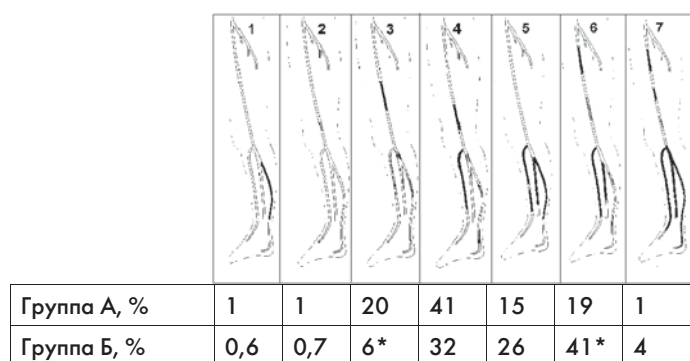


Рис. 2. Распределение пациентов группы А и группы Б согласно морфологической классификации Л. Грациани.

на большую распространенность тяжелых поражений 6 класса в сравнении с группой А (41% против 19%, и меньшую распространенность перемежающейся хромоты (6% против 20%, $p < 0,05$). Таким образом, клиническая характеристика пациентов и морфологическая картина поражений периферического русла отражают увеличение количества пациентов с СД, имеющих тяжелые осложнения заболевания, распространенность КИНК с закономерным ухудшением артериальной проходимости в периоде наблюдения с сентября 2010 г. по январь 2012 г.

В работе было показано оптимальное соответствие между УЗДС и РКАГ для всех артериальных сегментов группы В (табл. 3). Наилучшая согласованность между УЗДС и РКАГ в обеих группах регистрировалась в проксимальном и среднем сегментах ПБА. В дистальной трети ПБА это соответствие было незначительно ниже в группе А из-за технических трудностей визуализации в гунтеровом канале в первой фазе исследования. Статистически значимые различия в группах А и В были выявлены в тибиальных артериях, особенно малоберцовой (МБА), а также в проксимальной и средней третях передней большеберцовой артерии (ПББА) и ЗББА.

В группе А чувствительность и специфичность метода была достаточной для всех артериальных сегментов, но ниже, чем в группе В, что обусловлено уменьшением как ложноположительных, так и ложноотрицательных результатов исследования по мере повышения точности ультразвуковой диагностики. В группе А чувствительность УЗ-диагностики была умеренно снижена в аорто-подвздошном сегменте, что связано с ложноотрицательными результатами исследования из-за технических сложностей визуализации в данной области, особенно у пациентов с ожирением. Более низкие значения прогностической ценности положительного результата (ПЦПР) для подвздошно-бедренного сегмента могут быть объяснены низкой распространенностью окклюзий и гемодинамически значимых стенозов в представленной выборке обследованных больных, обусловленной особенностью течения ЗПА у больных СД. Чувствительность и специфичность метода УЗДС была снижена в МБА и проксимальных сегментах ЗББА и ПББА, а также в нижней трети ПБА группы А, что сопровождалось повышенной частотой ложноположительных и ложноотрицательных ответов. Однако повышение точности метода в этих сегментах группы В свидетельствует о росте квалификации специалиста.

Одной из причин неудовлетворительной оценки проходимости МБА может быть ее глубокое анатомическое расположение и множественные фасциальные мышечные влагалища, затрудняющие визуализацию сосуда. Кроме того, для высокой точности метода в проксимальном и среднем сегментах ПББА, ЗББА и МБА необходимы более высокие профессиональные навыки по ультразвуковой диагностике, которые были продемонстрированы в группе В специалистом во второй фазе исследования. В дистальной трети голени было выявлено хорошее соответствие между УЗДС и РКАГ во всех бер-

Таблица 3

Степень соответствия между УЗДС и РКАГ (коэффициент Каппа), точность, чувствительность, специфичность, положительная и отрицательная прогностическая ценность УЗДС в различных артериальных сегментах нижних конечностей

Группа А					
Артерии	Коэффициент Каппа	ДЧ, %	ДС, %	ПЦОР, %	ПЦПР, %
ОПА	0,61	60 [55–77]	94 [92–99]	74 [56–88]	67 [97–99]
НПА	0,64	67 [27–97]	96 [94–99]	75 [97–99]	70 [45–73]
ОБА	0,83	75 [87–94]	96 [93–98]	77 [96–99]	75 [33–98]
ГАБ	0,87	77 [44–95]	97 [92–99]	78 [68–92]	75 [69–95]
ПБА (п/с/д)	0,86/0,88/0,71	85 [82–95]	76 [88–93]	96 [89–97]	83 [80–94]
ПА (п/с/д)	0,85/0,88/0,88	91 [77–95]	98 [94–99]	90 [93–95]	89 [81–96]
ЗББА (п/с/д)	0,52/0,67/0,83	77 [74–83]	75 [73–85]	65 [62–68]	85 [82–90]
ПББА (п/с/д)	0,64/0,58/0,81	75 [71–78]	76 [72–78]	81 [81–88]	85 [81–92]
МБА (п/с/д)	0,59/0,48/0,51	76 [73–78]	71 [76–82]	93 [89–95]	85 [79–86]
ТАС	0,83	88 [83–89]	87 [82–89]	91 [89–94]	89 [81–92]
Группа Б					
Артерии	Коэффициент Каппа	ДЧ, %	ДС, %	ПЦОР, %	ПЦПР, %
ОБА	0,92	77 [42–98]	97 [95–99]	92 [97–99]	79 [42–98]
ГАБ	0,95	82 [69–95]	98 [96–99]	83 [80–98]	80 [67–95]
ПБА (п/с/д)	0,94/0,95/0,96*	94 [84–98]*	97 [93–98]*	98 [94–99]	92 [82–96]*
ПА (п/с/д)	0,93/0,97/0,92	97 [87–99]	89 [85–94]	97 [93–98]	95 [81–99]
ЗББА (п/с/д)	0,83**/0,85**/0,89	92 [85–96]*	87 [81–89]*	77 [70–82]*	95 [89–97]*
ПББА (п/с/д)	0,94**/0,88*/0,89	91 [83–94]*	89 [82–90]*	92 [84–95]*	97 [92–98]*
МБА (п/с/д)	0,75**/0,81*/0,9**	89 [85–95]*	85 [79–89]*	88 [87–91]*	94 [90–96]*
ТАС	0,89	92 [86–96]	85 [82–88]	93 [88–95]	96 [91–98]

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ при сравнении групп А и Б

ОПА – общая подвздошная артерия, НПА – наружная подвздошная артерия, ОБА – общая бедренная артерия, ГАБ – глубокая артерия бедра, ПБА – поверхностная бедренная артерия, ПА – подколенная артерия, ЗББА – задняя большеберцовая артерия, ПББА – передняя большеберцовая артерия, МБА – малоберцовая артерия, ТАС – тыльная артерия стопы; п – проксимальная треть голени, с – средняя треть голени, д – нижняя треть голени; ДЧ – диагностическая чувствительность, ДС – диагностическая специфичность, ПЦПР – прогностическая ценность положительного результата, ПЦОР – прогностическая ценность отрицательного результата, ТДТ – точность диагностического теста.

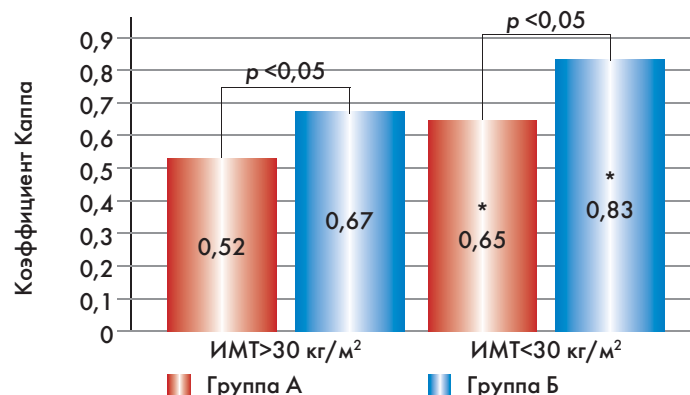
цовых артериях, поскольку ультразвуковое сканирование на этом уровне обычно легко выполнимо в связи с поверхностным расположением сосудов.

Умеренно сниженные показатели коэффициента Каппы в аорто-подвздошном сегменте группы А были связаны с техническими трудностями сканирования. Малоинформативная визуализация артерий таза могла быть обусловлена их глубоким расположением, изви-

стостью анатомического хода, наличием газа в кишечнике. Кроме того, было отмечено, что оценку тяжести стено-окклюзирующих изменений подвздошных артерий при ультразвуковом исследовании существенно ограничивало абдоминальное ожирение (рис. 3). Индекс согласованности был выше у пациентов без ожирения в сравнении с пациентами, страдающими абдоминальным ожирением в представленных выборках.

Поскольку артериальные поражения у больных СД с КИНК локализовались преимущественно дистальнее подколенной артерии, представлял интерес анализ факторов, влияющих на точность ультразвукового исследования в берцово-стопном сегменте. Установлено, что объективную оценку состояния кровотока артерий голени и стопы при УЗДС значительно ограничивают: проксимальные окклюзии бедренно-подколенного сегмента, кальциноз стенок артерий голени и отек подкожно-жировой клетчатки (рис. 4 а, б, в).

Действительно, визуализация всего артериального русла тибиальных артерий была ограничена вследствие большой его протяженности и распространенности пролонгированных окклюзий. Качество изображения артерий голени значительно снижалось при наличии выраженного кальциноза сосудистой стенки, множественных кальцинированных атеросклеротических бляшек. При этом массивные ультразвуковые тени перекрывали



* $p < 0,05$ относительно пациентов с ожирением

Рис. 3. Согласованность УЗДС и РКАГ на уровне аорто-подвздошного сегмента в зависимости от наличия абдоминального ожирения.

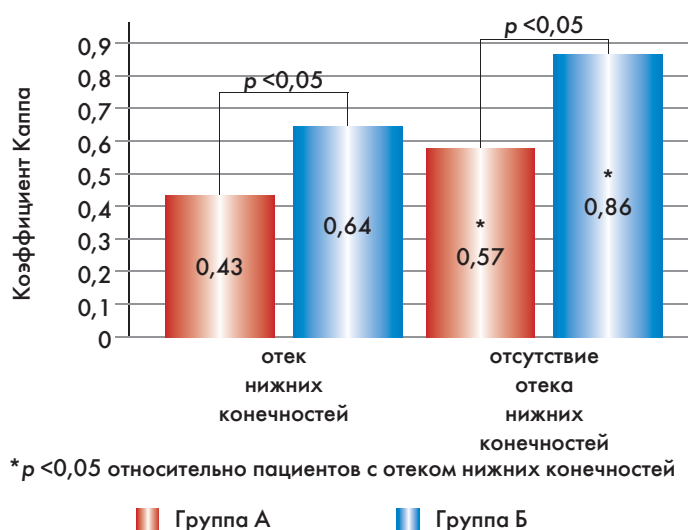
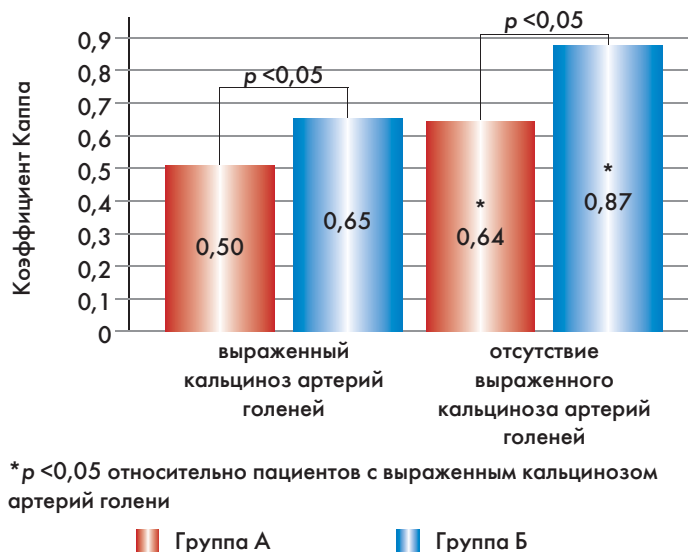
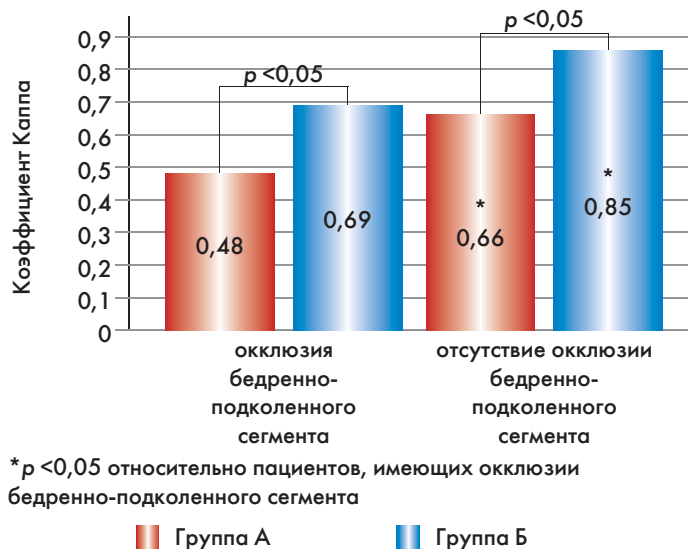


Рис. 4. Уровень согласованности между УЗДС и РКАГ при оценке кровотока тибиальных артерий в зависимости от окклюзий бедренно-подколенного сегмента (а), выраженного кальциноза сосудистой стенки (б), отека нижних конечностей (в).



Рис. 5. Визуализация гиперэхогенных кальцинированных утолщенных стенок ПББА с потерей дифференцировки на слои у пациентки с СД и ХБП 5 ст. Стрелками указаны ультразвуковые тени.

контуры сосуда, вызывая ложное представление о непроходимости артерии (рис. 5).

Однако при сопоставлении с ангиографией установлено, что полученные при УЗДС функциональные параметры кровотока (форма спектра, величина периферического сопротивления) позволяли косвенно, но достоверно судить о наличии препятствий кровотоку в не визуализируемых участках (рис. 6 а, б).

Обсуждение

Качественная визуализация периферических артерий у больных СД с КИНК является залогом последующей успешной реваскуляризации конечности. Традиционно РКАГ считается стандартным методом оценки проходимости артерий нижних конечностей у пациентов с ЗПА. Впервые применение УЗДС с целью исследования стено-окклюзирующих поражений периферических артерий было предпринято Jager K.A. в 1985 г. [29]. Однако длительное время метод УЗДС носил скрининговый характер в оценке тяжести ЗПА, и стратегия восстановления артериального кровотока в конечности строилась на основании данных диагностической РКАГ и других методов визуализации с использованием контрастных препаратов. Известно, что УЗДС является оператор-зависимой техникой и точность диагностики во многом определяется квалификацией специалиста. Тем не менее, в настоящее время накоплен достаточный опыт эффективной и точной ультразвуковой диагностики сосудистых поражений. Все чаще выбор тактики хирургического и/или эндоваскулярного восстановления кровотока у пациентов с КИНК, включая больных СД, проводится на основании данных информативного заключения УЗДС. При этом необходимость в проведении дооперационной инвазивной визуализации сосудов возникает в редких случаях [8, 9, 11, 14, 17, 22, 23, 30]. Данная диагностическая концепция позволяет снизить риск локальных и системных осложнений ангиогра-



Рис. 6а. Акустические тени, перекрывающие просвет передней большеберцовой артерии (ПББА) в режиме ЭДК и подлежащие ткани.

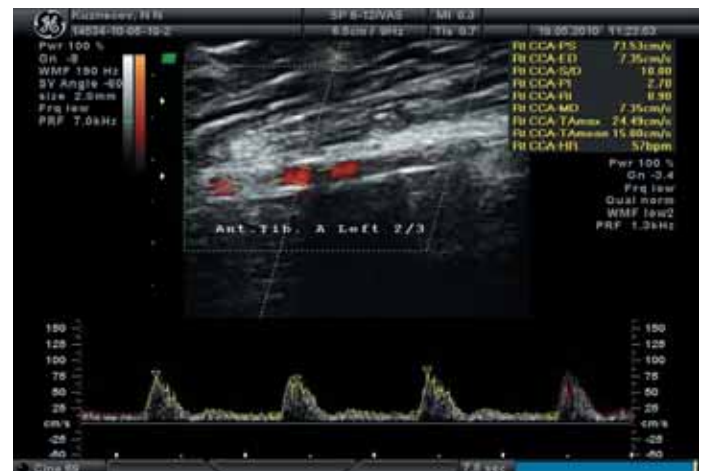


Рис. 6б. Магистрально-измененный тип кровотока в артерии дистальнее не визуализируемого участка.

фии (4–9%): образование гематомы в месте пункции бедренной артерии, формирование ложной аневризмы, артерио-венозной фистулы, а также развитие контраст-индуцированной нефропатии, острой почечной недостаточности и прогрессирования ХБП у больных с СД [2–4, 31–34]. Кроме того, дифференцированный подход к применению РКАГ значительно сокращает сроки госпитализации пациента с КИНК и уменьшает расходы на его обследование [35]. С целью снижения частоты возможных осложнений процедуры РКАГ в нашей работе была продемонстрирована возможность повышения эффективности УЗДС в топической диагностике сосудистых поражений у больных СД и КИНК с последующим исключением РКАГ из алгоритма дооперационного обследования у большинства пациентов. Сравнительный анализ точности заключений специалиста по ультразвуковой диагностике в оценке гемодинамически значимых поражений артерий нижних конечностей относительно данных РКАГ был проведен в разные сроки наблюдения. По мере роста соответствия УЗДС и РКАГ в определении степени артериальных стенозов, необходимость в проведении дополнительных методов визуализации была значительно снижена. МСКТА, МРА и РКАГ применялись лишь в некоторых случаях при неудовлетворительной ультразвуковой визуализации артерий нижних конечностей, обусловленной тяжелым кальцинозом сосудистой стенки, окклюзиями путей притока, морбидным ожирением, выраженными периферическими отеками, а также при планировании открытого хирургического вмешательства [6]. Важно отметить, что оценка проходимости тибиальных артерий с применением РКАГ при сопутствующих полисегментарных стенозах и окклюзиях бедренно-подколенного сегмента часто бывает неудовлетворительной. При этом низкая скорость кровотока в дистальных отделах голени определяет недостаточно качественное контрастирование сосудов. В таких случаях комплексное применение различных режимов УЗДС может иметь преимущество в определении окклюзирующих артериальных поражений в сравнении с РКАГ и другими методами визуализации [36, 37]. Как было

представлено, особенностями ультразвуковой и морфологической картины периферического русла у пациентов с СД и КИНК были мультифокальные множественные поражения артерий нижних конечностей. Диффузные стенозы и пролонгированные окклюзии артерий голени являлись отличительной особенностью течения ЗПА у таких больных. Выраженный кальциноз сосудистой стенки, особенно берцово-стопного сегмента у пациентов с СД и ХПН, значительно осложнял точность оценки стено-окклюзирующих изменений. Сочетанное применение различных режимов ультразвуковой визуализации не всегда позволяло достоверно судить о проходимости артерий голени при наличии массивных ультразвуковых теней от кальцинированных стенок и атеросклеротических бляшек, перекрывающих просвет сосудов. Диагностика окклюзирующих поражений в не визуализируемых участках артерий успешно проводилась с использованием спектрального доплеровского режима путем оценки функциональных параметров кровотока. Таким образом, возможность исследования состояния сосудистой стенки и гемодинамических характеристик кровотока является преимуществом УЗДС в сравнении с РКАГ и другими методами диагностики периферических артерий [7]. Кроме того, пошаговая визуализация артерий голени и стопы на всем протяжении также представляла собой сложную техническую задачу. Тем не менее, подробное описание состояния периферического кровотока необходимо для определения степени вовлеченности дистальных отделов артериального русла и соответствующего планирования хирургической тактики лечения. Качественное заключение УЗДС определяло построение оптимальной тактики эндоваскулярного вмешательства, прогноз интраоперационных трудностей в случае пролонгированных окклюзий и выраженного кальциноза сосудистой стенки, влияло на оценку предполагаемого успеха интервенции.

Несмотря на объективные ограничения метода, в работе была продемонстрирована возможность совершенствования практических навыков по ультразвуковой диагностике артерий нижних конечностей,

что позволяет достаточно точно диагностировать степень и характер стено-окклюзирующих поражений. Сравнительный анализ заключений УЗДС с ангиографической картиной, а также знание клинических особенностей течения КИНК у пациентов с СД и тяжелыми сопутствующими

осложнениями заболевания снижали вероятность ошибки исследования и способствовали достижению высокой точности метода.

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов в связи с написанием статьи.

Список литературы

1. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR, Harris KA, Fowkes FGR; TASC II Working Group. Inter-Society consensus for the management of peripheral arterial disease (TASC II). *J Vasc Surg.* 2007 Jan;45 Suppl S:S5–67.
2. Faglia E, Dalla Paola L, Clerici G, Clerissi J, Graziani L, Fusaro M, Gabrielli L, Losa S, Stella A, Gargiulo M, Mantero M, Caminiti M, Ninkovic S, Curci V, Morabito A. Peripheral angioplasty as the first-choice revascularization procedure in diabetic patients with critical limb ischemia: prospective study of 993 consecutive patients hospitalized and followed between 1999 and 2003. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2005 Jun;29(6):620–627. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2005.02.035>
3. Зайцева НВ. Факторы риска развития и пути профилактики контрастиндуцированной нефропатии при проведении коронарной ангиографии у больных сахарным диабетом 2 типа. Дисс. на соискание ученой степени к.м.н. Москва; 2009.
4. Bondarenko O, Pryakhina K, Sitkin I, Galstyan G, Dedov I. The influence of contrast medium on renal function in diabetic patient with critical limb ischemia after contrast angiography/peripheral transluminal angioplasty. IX meeting of the DFSG (Diabetic Foot Study Group of the EASD); 2010.
5. Дадвани СА, Терновой СК, Артюхина ЕГ, Кондрашин СА, Ульянов ДА, Фролов КБ. Сравнительная характеристика дуплексного сканирования и рентгеноконтрастной ангиографии в диагностике облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей. Визуализация в клинике. 1998; (13). Доступно в сети Интернет: <http://medi.ru/doc/6481208.htm>
6. Bondarenko O, Pryakhina K, Galstyan G, Sitkin I. Duplex scanning compared with digital subtraction angiography in verification of peripheral arterial disease in diabetic patients. IX meeting of the DFSG (Diabetic Foot Study Group of the EASD); 2010.
7. Baldino G, Mortola P, Chima A, Sciutto T, Cassola P, Gory A. Role of Duplex ultrasound in the management of infrageniculate surgical revascularization. *The Journal of Vascular and Endovascular Surgery* 2010; 17 Suppl. 1 (3):19–24.
8. Faglia E, Clerici G, Losa S, Caminiti M, Baudo A. Does the accuracy of duplex scanning in diabetic patients with critical limb ischemia agree more frequently with arteriography when performed at vascular “dedicated” or “non dedicated” facilities? *The Journal of Diabetic Complications* 2011; 3(3):43–49.
9. Mazzariol F, Ascher E, Hingorani A, Gunduz Y, Yorkovich W, Salles-Cunha S. Lower-extremity revascularization without preoperative contrast arteriography in 185 cases: lesson learned with duplex ultrasound arterial mapping. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2000 May;19(5):509–515. DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/ejvs.1999.1019>
10. Proia RR, Walsh DB, Nelson PR, Connors JP, Powell RJ, Zwolak RM, Fillingner MF, Cronenwett JL. Early results of infrageniculate revascularization based solely on duplex arteriography. *J Vasc Surg.* 2001 Jun;33(6):1165–1170. DOI: <http://dx.doi.org/10.1067/mva.2001.115376>
11. Ascher E, Hingorani A, Markevich N, Costa T, Kallakuri S, Khanimov Y. Lower extremity revascularization contrast arteriography: experience with duplex ultrasound arterial mapping in 485 cases. *Ann Vasc Surg.* 2002 Jan;16(1):108–114. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10016-001-0130-8>
12. Lujan S, Criado E, Puras E, Izquierdo LM. Duplex scanning or arteriography for planning of lower limb revascularization. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2002 Jul;24(1):31–36. DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/ejvs.2002.1623>
13. Grassbaugh JA, Nelson PR, Rzucidlo EM, Schermerhorn ML, Fillingner MF, Powell RJ, Zwolak RM, Cronenwett JL, Walsh DB. Blinded comparison of preoperative duplex ultrasound scanning and contrast arteriography for planning revascularization at the level of the tibia. *J Vasc Surg.* 2003 Jun;37(6):1186–1190. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0741-5214\(03\)00328-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0741-5214(03)00328-8)
14. Hingorani A, Ascher E, Marks N. Preprocedural imaging: new options to reduce need for contrast angiography. *Semin Vasc Surg.* 2007 Mar;20(1):15–28.
15. Lowery AJ, Hynes N, Manning BJ, Mahendran M, Tawfik S, Sultan S. A prospective feasibility study of Duplex ultrasound arterial mapping, digital subtraction angiography and magnetic resonance angiography in management of critical lower limb ischemia by endovascular revascularization. *Ann Vasc Surg.* 2007 Jul;21(4):443–451.
16. Queral LA, Lucas PR, Badder EM, Wilkerson RJ. Lower extremity revascularization based on intraoperative arteriography. *Ann Vasc Surg.* 2007 May;21(3):284–288.
17. Ascher E, Hingorani A, Markevich N, Yorkovich W, Schutzer R, Hou A, Jacob T, Nahata S, Kallakuri S. Role of duplex arteriography as the sole preoperative imaging modality prior to lower extremity revascularization surgery in diabetic and renal patients. *Ann Vasc Surg.* 2004 Jul;18(4):433–439. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10016-004-0058-x>
18. Осипов ЛВ. Ультразвуковые диагностические приборы. Практическое руководство для пользователей. М: Видар; 1999. 256 с.
19. de Vries M, Ouwendijk R, Flobbe K, Nelemans PJ, Kessels AG, Schurink GH, van der Vliet JA, Heijstraten FM, Cuypers PW, Duijm LE, van Engelshoven JM, Hunink MG, de Haan MW. Peripheral arterial disease: Clinical and Cost Comparisons between Duplex US and Contrast-enhanced MR Angiography – A Multicenter Randomized Trial. *Radiology.* 2006 Aug;240(2):401–410. DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2402050223>
20. Apelqvist J, Bakker K, van Houtum WH, Nabuurs-Franssen MH, Schaper NC. International consensus and practical guidelines on the management and the prevention of the diabetic foot. *International Working Group on the Diabetic Foot. Diabetes Metab Res Rev.* 2000 Sep–Oct;16 Suppl 1:S84–92. DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/1520-7560\(200009/10\)16:1+<:AID-DMRR113>3.0.CO;2-S](http://dx.doi.org/10.1002/1520-7560(200009/10)16:1+<:AID-DMRR113>3.0.CO;2-S)
21. Hirsch AT, Haskal ZJ, Hertzner NR, Bakal CW, Creager MA, Halperin JL, Hiratzka LF, Murphy WR, Olin JW, Puschett JB, Rosenfield KA, Sacks D, Stanley JC, Taylor LM Jr, White CJ,

- White J, White RA. ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic): a collaborative report from the American Association for Vascular Surgery/Society for Vascular Surgery, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society for Vascular Medicine and Biology, Society of Interventional Radiology, and the ACC/AHA Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines for the Management of Patients With Peripheral Arterial Disease): endorsed by the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation; National Heart, Lung, and Blood Institute; Society for Vascular Nursing; TransAtlantic Inter-Society Consensus; and Vascular Disease Foundation. *Circulation*. 2006;113(11):e463–654. DOI: <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.174526>
22. Hingorani A, Ascher E, Markevich N, Kallakuri S, Schutzer R, Yorkovich W, Jacob T. A comparison of magnetic resonance angiography, contrast arteriography and Duplex arteriography for patients undergoing lower extremity revascularization. *Ann Vasc Surg*. 2004 May;18(3):294–301. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10016-004-0039-0>
 23. Hingorani A, Ascher E, Markevich N, Kallakuri S, Hou A, Schutzer R, Yorkovich W. Magnetic resonance angiography versus duplex arteriography in patients undergoing lower extremity revascularization: which is the best replacement for contrast arteriography? *J Vasc Surg*. 2004 Apr;39(4):717–722. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2003.12.035>
 24. Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 1960; (20): 37–46. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/001316446002000104>
 25. Bonow RO, Carabello BA, Kanu C, de Leon AC Jr, Faxon DP, Freed MD, Gaasch WH, Lytle BW, Nishimura RA, O'Gara PT, O'Rourke RA, Otto CM, Shah PM, Shanewise JS. ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing committee to revise the 1998 Guidelines for the Management of Patients With Valvular Heart Disease): developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists: endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons. *Circulation*. 2006 Aug 1;114(5):e84–231. DOI: <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.176857>
 26. Schaper NC, Andros G, Apelqvist J, Bakker K, Lammer J, Lepantalo M, Mills JL, Reekers J, Shearman CP, Zierler RE, Hinchliffe RJ; International Working Group on Diabetic foot. Specific guidelines for the diagnosis and treatment of peripheral arterial disease in a patient with diabetes and ulceration of the foot. *Diabetes Metab Res Rev*. 2012 Feb;28 Suppl 1:236–237. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/dmrr.2252>
 27. Rutherford RB, Baker JD, Ernst C, Johnston KW, Porter JM, Ahn S, Jones DN. Recommended standards for reports dealing with lower extremity ischemia: Revised version. *J Vasc Surg*. 1997 Sep;26(3):517–538. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0741-5214\(97\)70045-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0741-5214(97)70045-4)
 28. Graziani L, Silvestro A, Bertone V, Manara E, Andreini R, Sigala A, Mingardi R, De Giglio R. Vascular involvement in diabetic subjects with ischemic foot ulcer: a new morphologic categorization of disease severity. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2007 Apr;33(4):453–460. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2006.11.022>
 29. Jager KA, Phillips DJ, Martin RL, Hanson C, Roederer GO, Langlois YE, Ricketts HJ, Strandness DE Jr. Noninvasive mapping of lower limb arterial lesions. *Ultrasound Med Biol*. 1985 May–Jun;11(3):515–521.
 30. Ascher E, Mazzariol F, Hingorani A, Salles-Cunha S, Gade P. The use of Duplex ultrasound arterial mapping as an alternative to conventional arteriography for primary and secondary infrapopliteal bypasses. *Am J Surg*. 1999 Aug;178(2):162–165.
 31. Waugh JR, Sacharias N. Arteriographic complications in the DSA era. *Radiology*. 1992 Jan;182(1):243–246.
 32. Dawson P, Trewhella M. Intravascular contrast agents and renal failure. *Clin Radiol*. 1990 Jun;41(6):373–375.
 33. Martin-Paredero V, Dixon SM, Baker JD, Takiff H, Gomes AS, Busutil RW, Moore WS. Risk of renal failure after major angiography. *Arch Surg*. 1983 Dec;118(12):1417–1420.
 34. Lautin EM, Freeman NJ, Schoenfeld AH, Bakal CW, Haramati N, Friedman AC, Lautin JL, Braha S, Kadish EG, Sprayregen S, et al. Radiocontrast associated renal dysfunction: incidence and risk factors. *American Journal of Roentgenology*. 1991 Jul;157(1):49–58.
 35. Perendreu J, Montanya X, Callejas JM, Garcia L, Mitjavila JM, Fernandez-Llamazares J. Cost-effectiveness of and morbidity from digital subtraction angiography. A study of 5,518 cases. *Ann Radiol (Paris)*. 1996;39(3):153–160.
 36. Hofmann WJ, Forstner R, Kofler B, Binder K, Ugurluoglu A, Magometschnigg H. Pedal artery imaging – a comparison of selective digital subtraction angiography, contrast enhanced magnetic resonance angiography and duplex ultrasound. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2002 Oct;24(4):287–292. DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/ejvs.2002.1730>
 37. O'Brien TS, Thomas H, Crow A, Lamont PM. Calf vessel preservation in peripheral vascular disease – angiography versus pulse generated run-off. *Eur J Vasc Surg*. 1993 Mar;7(2):177–179. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0950-821X\(05\)80759-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0950-821X(05)80759-5)

Бондаренко Ольга Николаевна

к.м.н., в.н.с. отделения диабетической стопы, ФГБУ Эндокринологический научный центр, Москва

Аюбова Наталья Леонидовна

аспирант отделения диабетической стопы, ФГБУ Эндокринологический научный центр, Москва

Галстян Гагик Радикович

д.м.н., проф., зав. отделением диабетической стопы, ФГБУ Эндокринологический научный центр, Москва

E-mail: foot@endocrincentr.ru

Дедов Иван Иванович

академик РАН и РАМН, директор ФГБУ Эндокринологический научный центр, Москва