

АНГИОСОМНЫЙ ПРИНЦИП РЕВАСКУЛЯРИЗАЦИИ: РОЛЬ ПРИ КРИТИЧЕСКОЙ ИШЕМИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ, ОГРАНИЧЕНИЯ, АЛЬТЕРНАТИВЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

*С.А. Платонов – к.м.н., заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения¹
В.В. Завацкий – научный сотрудник отдела эндоваскулярной хирургии¹
Д.В. Кандыба – руководитель отдела эндоваскулярной хирургии¹
И.П. Дуданов – д.м.н., профессор, член-корр. РАН, руководитель регионального сосудистого центра²
А.И. Ерошкин – аспирант³

¹ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе»

192242 Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Будапештская, 3

²Санкт-Петербургское ГБУЗ «Городская Мариинская больница»,

194104 Российская федерация, г. Санкт-Петербург, Литейный пр., 56

³ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет)

Кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии лечебного факультета

119991 Российская Федерация, г. Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 4

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- ангиосомная концепция
- критическая ишемия нижних конечностей
- микроциркуляция

РЕЗЮМЕ:

Обзор посвящен проблеме применения ангиосомного принципа реваскуляризации при критической ишемии нижних конечностей.

Описано кровоснабжение стопы в соответствии с ангиосомной концепцией. Представлены разные взгляды относительно применения ангиосомного принципа реваскуляризации при критической ишемии нижних конечностей.

Описан ряд особенностей ангиосомного принципа, ограничивающих его рутинное использование в клинической практике.

Кроме того, освещены методы оценки перфузии тканей стопы, которые можно применять на всех этапах лечения, оценивая тяжесть поражения макро- и микроциркуляции и результат реваскуляризации.

Для цитирования: С.А. Платонов, В.В. Завацкий, Д.В. Кандыба, И.П. Дуданов, А.И. Ерошкин, «Ангиосомный принцип реваскуляризации: Роль при критической ишемии нижних конечностей, Ограничения, альтернативы.». Журнал «Диагностическая и интервенционная радиология», 2017; 11(4):55–61.

ANGIOSOME PRINCIPLE OF REVASCULARIZATION: THE ROLE IN CRITICAL LIMB ISCHEMIA, LIMITATIONS, ALTERNATIVES (LITERATURE REVIEW)

*Platonov S.A. – MD, PhD¹

Zavatskiy V.V. – MD¹

Kandyba D.V. – MD¹

Dudanov I.P. – MD, PhD, professor, corresponding member of RAS²

¹Saint-Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute Of Emergency Medicine
3, Budapeshtskaya, Saint-Petersburg, Russian Federation, 192242

²Mariinskaya Hospital

56, Liteynyy prospect, Saint-Petersburg, Russian Federation, 194104

³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

2/4, Bolshaya Pirogovskaya, Moscow, Russian Federation, 119991

KEY-WORDS:

- angiosome concept
- critical limb ischemia
- microcirculation

ABSTRACT:

This review is focused on the problem of the angiosome principle of revascularization in critical limb ischemia.

The blood circulation of the foot is described in accordance with the angiosome concept. Different opinions on the application of the angiosome principle of revascularization in critical lower limb ischemia are presented.

Features of the angiosome principle that limit its routine use in clinical practice are described. Also, methods of perfusion evaluation that can be applied at all stages of the treatment process, allow to assess the severity of macro- and microcirculation impairment and result of revascularization are described.

*Адрес для корреспонденции (Correspondence to): Платонов Сергей Александрович (Platonov S. A.), e-mail: sergey.platonov@mail.ru.

Ангиосомная концепция, ангиосомы стопы

В 1987 году G.I. Taylor и J.H. Palmer представили ангиосомную концепцию, подразумевающую деление человеческого тела на трехмерные анатомические единицы тканей, кровоснабжение которых осуществляется определенными артериями. В 1998 году G.I. Taylor и W.R. Rap выделили на стопе шесть ангиосомов, три из которых кровоснабжаются из системы задней большеберцовой артерии (ЗББА), один – ветвями передней большеберцовой артерии (ПББА) и два – ветвями малоберцовой артерии (МБА) [1].

Роль ангиосомного принципа реваскуляризации при КИНК

В настоящее время нет единого мнения относительно применения ангиосомного принципа при реваскуляризации у пациентов с критической ишемией нижних конечностей (КИНК). В соответствии с современными рекомендациями у больных сахарным диабетом (СД) и ишемическими дефектами стопы цель реваскуляризации состоит в восстановлении магистрального кровотока к пораженному ангиосому [2, 3]. Однако Национальными рекомендациями по ведению пациентов с заболеваниями артерий нижних конечностей соблюдение ангиосомного принципа поддерживается только при эндоваскулярном лечении КИНК [4]. Похожая позиция отражена и в рекомендациях Американского колледжа кардиологии [5].

Утверждения относительно необходимости соблюдения ангиосомного принципа реваскуляризации явились результатом целого ряда исследований, доказавших его преимущество в лечении КИНК [6-18]. Кроме того, согласно данным двух систематических обзоров с мета-анализами от 2014 года, включивших 9 (1290 нижних конечностей) и 15 исследований (1868 конечностей), вероятность заживления и сохранения конечности выше при выполнении прямой реваскуляризации пораженного ангиосомы [19, 20].

Авторы недавнего мета-анализа, включившего 19 исследований (3932 пациента), приходят к аналогичным выводам в отношении эндоваскулярной группы больных. Однако соблюдение ангиосомного принципа при выполнении дистального шунтирования не приводило к достоверному уменьшению количества высоких ампутаций [21]. К заключению об отсутствии практической пользы от выполнения шунтирования на питающую артерию пришли авторы еще нескольких работ [22, 23]. Также имеются исследования, по результатам которых не выявлено преимуществ прямой эндоваскулярной реваскуляризации анатомической зоны язвы [24-26].

Таким образом, вопрос применения ангиосомного принципа при выполнении реваскуляризирующих вмешательств у пациентов с язвенно-некротическими дефектами при КИНК до сих пор открыт. Более того, по нашему мнению, сама концепция имеет «слабые

места», которые ограничивают ее рутинное использование.

Ограничения применения ангиосомного принципа реваскуляризации

Низкий уровень доказательности проведенных исследований

Подавляющее большинство работ по ангиосомному принципу реваскуляризации являются ретроспективными. Нами обнаружено два проспективных исследования от 2012 и 2013 гг., однако их материал весьма скуден и составил всего 32 и 64 пациента соответственно [9, 12]. Последнее характерно для большинства исследований по данной теме. Так, целый ряд работ включает менее 100 или даже менее 50 наблюдений [6, 9, 12-15, 18, 25].

Не учтена роль коллатеральных ветвей на стопе

По данным литературы, прямую реваскуляризацию пораженного ангиосомы удается выполнить лишь в 48-72% случаев [9, 10, 12, 15-17]. Остальные пациенты попадают в группу не прямой реваскуляризации, что, в соответствии с результатами подавляющего большинства исследований, прогностически неблагоприятно. Но так ли это на самом деле?

В группе не прямой реваскуляризации оказываются как пациенты, которым кровоток к язве восстанавливали через коллатеральные сосуды, так и больные, кровоснабжение стопы у которых восстанавливалось в отсутствие коллатералей к пораженному ангиосому. Этот факт учтен всего в четырех работах, авторы которых сравнили результаты прямой реваскуляризации, не прямой реваскуляризации через коллатерали и собственно не прямой реваскуляризации [7, 18, 27, 30]. Согласно данным трех из вышеуказанных исследований, можно добиться результатов лечения, не уступающих результатам прямой реваскуляризации, восстанавливая кровоток к пораженному ангиосому через коллатерали [7, 18, 27]. В соответствии с данными четвертой работы, авторы которой отдельно проанализировали эффект от дистальных шунтирований и ангиопластики, взаимосвязь между вариантом восстановления кровотока и результатом лечения имелась только в эндоваскулярной группе [30].

Нельзя не отметить, что группы коллатералей в этих работах отличались друг от друга. С. Varela с соавторами включали только пациентов, которым не прямое кровоснабжение язвы восстанавливалось через дистальные ветви МБА и артериальную дугу стопы [18]. Другие и вовсе не указывают, какие коллатерали учитывались [27, 30]. Мы же в своей работе проанализировали результаты в группе пациентов, у которых встречались следующие коллатерали к зоне язвы: дистальные ветви ПББА (латеральная и переднемедиальная лодыжечные ветви, латеральная и медиальная предплюсневые ветви), МБА (передняя перфорантная,

коммуникантная и латеральная пяточная ветви), ЗББА (медиальная пяточная ветвь) и дуга стопы. Последнюю намеренно выделили отдельно, так как она является межсистемным анастомозом ПББА и ЗББА на стопе [7]. На самом деле путей коллатерального кровоснабжения на стопе еще больше. Поэтому сложно относиться к результатам этих исследований одинаково и, по нашему мнению, ошибочно одни коллатерали учитывать, а другие не брать в расчет. Другой вопрос, что коллатерали на стопе неодинакового размера и, быть может, разного клинического значения. Однако зачастую сложно при визуальном изучении давать объективную оценку адекватности коллатерального кровоснабжения.

Разные методы реваскуляризации в сравниваемых группах

Кроме того, материал некоторых работ включает как пациентов, которым выполнялись эндоваскулярные вмешательства, так и больных после шунтирующих операций, что, по нашему мнению, некорректно и могло отразиться на результате исследования [12, 18]. Так, при эндоваскулярном лечении зачастую производится реканализация окклюзированной питающей артерии, а при шунтировании анастомоз создается с функционирующим сосудом. Более того, при дистальном шунтировании аутовена характеризуется большим диаметром на всем протяжении, а восстановленный просвет после реканализации и ангиопластики артерий голени и стопы меньше. Быть может именно по этим причинам результаты дистального шунтирования, по данным некоторых исследований, лучше результатов ангиопластики [16].

Не учтены особенности поражения артерий стопы при СД

Большинство авторов исследований по изучению ангиосомного принципа реваскуляризации не выделяли отдельно группы больных с СД и без него [7, 9-11, 12, 13, 15, 16, 18, 22-25, 27]. Мы склонны полагать, что это следовало бы сделать по причине наличия ряда особенностей поражения артериального русла нижних конечностей при синдроме диабетической стопы. Во-первых, для диабетической макроангиопатии характерен дистальный тип поражения [28]. Во-вторых, у данной категории больных, как правило, плохо развиты артериальные коллатерали стопы [29]. В связи с вышеперечисленными неблагоприятными характеристиками, представляется весьма обоснованным восстановление магистрального кровотока к пораженному ангиосому именно у пациентов с СД.

Разное понимание о прямой реваскуляризации при определенных локализациях язв

К. Spillerova с соавторами осветили еще одну причину, по которой следует с осторожностью относиться к результатам и выводам исследований по ангиосомному принципу реваскуляризации, а именно разное понимание о прямой реваскуляризации анатомиче-

ской зоны язв определенных локализаций [30]. Одни авторы считают, что при локализации язвенных дефектов в дистальном отделе стопы, в том числе на пальцах, питающей может рассматриваться как ПББА, так и ЗББА [13, 15, 18, 23, 30, 31]. V.A. Alexandrescu представляет иной взгляд, согласно которому при данной локализации ангиосомной является только ЗББА [32]. Относительно пяточной области аналогичная ситуация. Есть мнение, что ангиосомными для данной области являются как ЗББА, так и МБА, без привязки к конкретной поверхности пятки [12, 13, 18]. Некоторые исследователи отмечают двойное кровоснабжение подошвенной (центральной) части пятки, но ничего не пишут о боковых поверхностях [15, 22]. И, наконец, согласно V.A. Alexandrescu, для пяточной области питающей артерией является ЗББА [32].

В целом, мы считаем версию, учитывающую кровоснабжение вышеуказанных областей из ПББА и ЗББА, более предпочтительной. Тем не менее наиболее логичным нам кажется следующий вариант. Несмотря на то, что обе анатомические области: передний отдел стопы и пятка - имеют двойное кровоснабжение, по нашему мнению, передний отдел стопы находится в более выгодных условиях за счет выраженной терминальной «аркады» - подошвенной артериальной дуги. Поэтому полагаем, что о прямой реваскуляризации язвенных дефектов переднего отдела стопы следует говорить, когда восстановлен кровоток как минимум по одной большеберцовой артерии (любой) в подошвенную дугу. Мы убеждены, что при данном варианте реваскуляризации неважно, на какой поверхности стопы находится дефект. Подобного мнения придерживаются и другие авторы. Однако они не указывают на важность проходимости подошвенной артериальной дуги [23, 30, 31]. В случаях окклюзии подошвенной дуги или вариантной анатомии, для суждения о варианте восстановленного кровоснабжения необходимо точно сопоставлять локализацию язвы (например, конкретный палец) с реканализированными артериями (тыльная артерия стопы или подошвенные артерии). Что касается пяточной области, то, по нашим взглядам, ЗББА должна рассматриваться в качестве ангиосомной для дефектов на медиальной поверхности пятки, а МБА – на латеральной. Для подошвенных (центральных) пяточных дефектов, согласно нашим представлениям, обе артерии являются ангиосомными.

Сложности в соблюдении ангиосомного принципа при обширных и множественных дефектах

В недавнем исследовании финской группы авторов показано, что в 76% наблюдений язвенно-некротическое поражение затрагивает более одного ангиосома [31]. Таким образом, в большинстве случаев возникает дилемма, какая артерия является ангиосомной? Согласно одним исследованиям, о прямой реваскуляризации при обширном поражении можно говорить, когда восстановлена проходимость одной из артерий,

участвующих в кровоснабжении дефекта [17, 30, 31]. В соответствии с данными других работ, должны быть реканализированы все артерии [11].

Еще одним камнем преткновения являются множественные язвенные дефекты на стопе. Зачастую при эндоваскулярном лечении пациентов с КИНК удается восстановить кровоснабжение стопы лишь по одной берцовой артерии [7, 10]. У пациента с язвами на подошвенной поверхности пятки и пальцах, восстановив кровоток по ПББА и тыльной артерии стопы в подошвенную дугу, мы выполним прямую реваскуляризацию лишь одного дефекта (на пальцах). При восстановлении проходимости МБА и аналогичной локализации дефектов возникнет противоположная ситуация. Кровоснабжение пяточного дефекта будет прямым, а язвы на пальце – непрямым. Таким образом, невозможно отнести таких пациентов к какой-то одной группе, что также ограничивает применение ангиосомного принципа на практике.

Не учтены особенности строения артериального русла стопы

Как было сказано выше, каждый ангиосом кровоснабжается определенной питающей артерией. Кроме того, соседние ангиосомы соединены между собой сетью артерий малого калибра («choke vessels») и системой истинных артериальных анастомозов [1].

Таким образом, ангиосомная концепция учитывает только сосуды макроциркуляции стопы. Однако, несмотря на восстановление прямого кровотока к зоне пораженного ангиосома, у части больных не удается заживить трофический дефект и сохранить конечность [8, 17, 18, 26]. Вероятной причиной неблагоприятного исхода наряду с другими факторами могут быть изменения на уровне микроциркуляторного русла. Особенно это касается синдрома диабетической стопы, при котором патофизиологические процессы отличаются от таковых при атеросклерозе без сахарного диабета. Так, при наличии нейропатии развиваются функциональные изменения состояния микроциркуляторного русла стопы, включающие повышение шунтового кровотока с «феноменом обкрадывания» капилляров и недостаточность постуральной вазоконстрикции с внутрикапиллярной гипертензией [33]. Поскольку свыше 70% пациентов с КИНК, которым выполняется реваскуляризация, страдают СД, проблема нарушений на уровне микроциркуляции имеет более чем серьезные масштабы [11].

Альтернативы

Таким образом, имеется целый ряд «уязвимых мест» ангиосомного принципа реваскуляризации, ставящих под сомнение его использование в повседневной практике. К настоящему моменту имеются данные об альтернативных вариантах оценки результата реваскуляризации.

По данным исследования группы авторов из Японии оказалось, что при ангиографии хорошее окрашивание контрастом зоны вблизи некроза («positive wound blushing») является независимым благоприятным предиктором заживления. Тогда как другие ангиографические характеристики, в том числе прямое кровоснабжение пораженного ангиосома, не оказали влияния на заживление при многомерном анализе. Следует отметить, что в 39% случаев хорошего окрашивания была выполнена непрямая реваскуляризация [34]. Последнее косвенно подтверждает важность коллатерального кровоснабжения. Тем не менее предлагаемый авторами метод оценки результата вмешательства представляется достаточно субъективным, поскольку заключение о наличии либо отсутствии хорошего окрашивания полностью зависит от специалиста.

Хорошо зарекомендовавшей себя методикой оценки перфузии нижних конечностей является транскутанная оксиметрия. В рекомендациях Международной рабочей группы по лечению заболеваний периферических артерий у пациентов с язвенно-некротическими дефектами стопы и СД сказано, что при значении напряжения кислорода равного или более 25 мм рт. ст. вероятность заживления увеличивается, по крайней мере, на 25% [2]. К несомненным преимуществам методики относится то, что она позволяет оценить уровень доставки кислорода к тканям, то есть измерить функциональную эффективность движения крови в микроциркуляторном русле. Таким образом, метод учитывает особенности строения сосудистого русла стопы. Однако на результаты транскутанной оксиметрии может влиять целый ряд факторов: температура в помещении, продолжительность исследования, психоэмоциональное состояние пациента, местные признаки воспаления, артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, уровень креатинина. Кроме того, такое исследование невозможно провести во время реваскуляризации, когда необходимо здесь и сейчас оценить эффект от вмешательства.

В 1979 году Axel L. впервые предложил метод определения тканевой перфузии при компьютерной томографии (КТ). В связи с необходимостью быстрого получения, обработки изображений и измерения перфузии в 1980-х годах применение метода было ограничено. Усовершенствование мультиспиральных томографов и выпуск программных пакетов от ряда производителей стимулировали внедрение перфузионной КТ в клиническую практику. Современные мультиспиральные компьютерные томографы имеют высокое пространственное разрешение для визуализации перфузии конечностей и возможность получения объемного изображения интересующих структур стопы. Кроме того, анализ перфузии с помощью КТ позволяет выполнить количественные измерения кровотока в сосудах и тканях, представляющих интерес [35].

Перфузионная КТ стоп позволяет определять очаговую ишемию при КИНК, что особенно важно для определения целевой артерии. Кроме того, этот метод помогает контролировать перфузию после реваскуляризации путем ее количественного анализа. КТ-перфузия стопы выполняется при приемлемых дозах ионизирующего излучения и рентгеноконтрастного вещества. Таким образом, этот метод перспективен, как с точки зрения стратификации тяжести заболевания, так и в плане количественной оценки улучшения перфузии тканей в результате реваскуляризации.

В течение последних трех лет активно изучается и применяется на практике весьма перспективный метод оценки перфузии тканей, учитывающий как макро-, так и микроциркуляцию стопы. Это программный продукт Philips «2D Perfusion», реализуемый при работе на ангиографической установке. Основным принцип метода заключается в том, что рентгеноконтрастный препарат, как и кислород, перемещается по капиллярам путем диффузии. Это позволяет визуализировать кровотоки на уровне микроциркуляции. Таким образом, измеряя объем крови в капиллярах, можно получить информацию о количестве кислорода. Исследование выполняется в рамках цифровой субтракционной ангиографии, поэтому не увеличивает объем контрастного вещества и лучевую нагрузку. Также оно не требует дополнительных ресурсов и не увеличивает длительность вмешательства. Метод позволяет оценить стандартные параметры перфузии.

Согласно данным нашего первичного опыта применения 2D-перфузии, получены обнадеживающие клинические результаты у пациентов с КИНК, которым улучшили перфузию стопы методом эндоваскулярной реваскуляризации. За короткий период наблюдения (минимум 1 месяц, максимум - 6) язвы на стопе зажили у 73,3% пациентов, у 26,7% процесс заживления продолжался, не было выполнено ни одной большой ампутации. Следует отметить, что удалось улучшить перфузию стопы и сохранить конечность в том числе пациенту, у которого восстановили проходимость подколенной артерии, а реканализация берцовых сосудов оказалась безуспешной [7]. В соответствии с ангиосомным делением, в данном случае не удалось выполнить даже непрямую реваскуляризацию, поскольку не был восстановлен магистральный кровоток на стопу. Надо полагать, что хороший клинический результат в данном случае был обусловлен коллатеральным кровоснабжением стопы. Таким образом, мы плавно подошли еще к одному преимуществу метода 2D-перфузии, а именно, объективной аппаратной оценке кровоснабжения стопы. В результате отсутствует необходимость отделять «хорошее» от «плохого», «прямое» от «непрямого». Кроме того, при оценке перфузии стопы можно выделять любую зону интереса (разной формы и раз-

мера), что будет полезным при множественных и обширных дефектах.

В настоящее время проводится нерандомизированное многоцентровое проспективное исследование PALI (Perfusion Angiography and Critical Limb Ischemia), первичной конечной точкой которого является сопоставление клинического результата с данными 2D-перфузии через 12 месяцев после эндоваскулярного вмешательства. Также исследователи планируют установить, есть ли корреляция между данными 2D-перфузии и результатами неинвазивных исследований и сравнить параметры перфузии у больных с СД и без него. Участники исследования искренне надеются, что данные 2D-перфузии позволят прогнозировать результат лечения [36].

Оценку параметров перфузии стопы до и после оперативного вмешательства можно получить также с помощью флюоресцентной ангиографии с индоцианином зеленым. Однако данный метод подразумевает использование достаточно громоздкого, дорогого оборудования и увеличивает продолжительность оперативного вмешательства. А на внутривенное введение индоцианина могут возникать аллергические реакции, хотя и редко.

Заключение

Остается целый ряд нерешенных вопросов относительно ангиосомного принципа реваскуляризации. Возможно ли решить их проведением больших проспективных исследований с тщательно подобранным материалом и грамотно выполненными статистическими методами? Неизвестно! Зачастую применение ангиосомного принципа сопряжено со сложностями или вовсе невозможно. Кроме того, обращает на себя внимание субъективизм и разные взгляды в определении вариантов восстановления кровоснабжения стопы и качества коллатералей. И, наконец, главной проблемой является то, что соблюдение ангиосомного принципа реваскуляризации не всегда гарантирует спасение конечности у пациентов с КИНК.

Применяемые на практике современные методы оценки перфузии стопы позволяют оценить функциональное состояние микроциркуляторного русла, изменения в котором могут быть вероятной причиной неудовлетворительных клинических исходов. Отдельного внимания заслуживают лучевые методы оценки перфузии, которые можно применять до лечения, прямо на операционном столе и после вмешательства. С осторожностью предположим, что, по данным вышеупомянутых методик, в недалеком будущем можно будет прогнозировать клинические исходы и, соответственно, выбирать подходящую тактику лечения пациентов с КИНК. ■

Список литературы/References

1. Taylor G.I., Pan W.R.. Angiosomes of the leg: anatomic study and clinical implications. *Plast. Reconstr. Surg.* 1998; 102(3):599–616.
2. Hinchliffe R.J., Brownrigg J.R.W., Apelqvist J. et al. IWGDF guidance on the diagnosis, prognosis and management of peripheral artery disease in patients with foot ulcers in diabetes. *Diabetes. Metab. Res. Rev.* 2016; 32 (Suppl. 1): 37–44.
3. Галстян Г.Р., Токмакова А.Ю., Егорова Д.Н. с соавт. Клинические рекомендации по диагностике и лечению синдрома диабетической стопы. *Раны и раневые инфекции.* 2015; 2(3):63–83.
Galstyan G.R., Tokmakova A.Yu., Egorova D.N. et al. Klinicheskie rekomendatsii po diagnostike i lecheniyu sindroma diabeticheskoy stopy. [Clinical guidelines on diagnostics and treatment of the diabetic foot syndrome]. *Rany i ranevye infektsii.* 2015; 2(3):63–83 [In Russ].
4. Покровский А.В., Абугов С.А., Алекян Б.Г. и др. Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями артерий нижних конечностей. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2013; 19 (Прил. 2):38.
Pokrovskiy A.V., Abugov S.A., Alekyan B.G. et al. Natsionalnye rekomendatsii po vedeniyu patsientov s zabolevaniyami arteriy nizhnikh konechnostey. [National guidelines on treatment of patients with lower limbs arterial disease]. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya.* 2013; 19 (Pril. 2):38. [In Russ].
5. Gerhard-Herman M.D., Gornik H.L., Barrett C. et al. 2016 AHA/ACC Guideline on the management of patients with lower extremity peripheral artery disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on clinical practice guidelines. *Circulation.* 2017; 135(12):e726–e779.
6. Ерошкин И.А.. Рентгенохирургическая коррекция поражений артерий нижних конечностей у больных сахарным диабетом и ее роль в комплексном лечении синдрома диабетической стопы. *Международный эндокринологический журнал.* 2011; 36(4):139–148.
Eroshkin I.A. Rentgenokhirurgicheskaya korrektsiya porazheniy arteriy nizhnikh konechnostey u bolnykh sakharnym diabetom i ee rol v kompleksnom lechenii sindroma diabeticheskoy stopy. [Endovascular correction of lower limbs arterial lesions in diabetics and its role in complex treatment of the diabetic foot syndrome]. *Mezhdunarodnyy endokrinologicheskiy zhurnal.* 2011; 36(4):139–148. [In Russ].
7. Платонов С.А., Капутин М.Ю., Овчаренко Д.В. и др. Роль коллатерального кровоснабжения стопы в заживлении трофических дефектов и сохранении конечности у больных с критической ишемией нижних конечностей. *Мед. akad. журн.* 2011; 11(3): 105–111.
Platonov S.A., Kaputin M.Yu., Ovcharenko D.V. et al. Rol kollateralnogo krovosnabzheniya stopy v zazhivlenii troficheskikh defektov i sokhraneniі konechnosti u bolnykh s kriticheskoy ishemiei nizhnikh konechnostey. [The role of foot collaterals in ulcer healing and limb salvage in patients with critical limb ischemia]. *Med. akad. zhurn.* 2011; 11(3): 105–111. [In Russ].
8. Alexandrescu V.A., Vincent G., Azdad K. et al. A reliable approach to diabetic neuroischemic foot wounds: below-the-knee angiosome-oriented angioplasty. *J. Endovasc. Ther.* 2011; 18 (3): 376–387.
9. Ferrufino-Mйrida A.L., Rodriguez-Trejo J.M., Escoto-Sбnchez I., Rodriguez-Ramirez N.. Angioplastia infrapoplitea: correlaciyn entre el vaso tratado y el angiosoma lesionado. *Rev. Mex. Angiol.* 2012; 40 (4): 123–134.
10. Iida O., Nanto S., Uematsu M.. Importance of the angiosome concept for endovascular therapy in patients with critical limb ischemia. *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 2010; 75(6):830–836.
11. Iida O., Soga Y., Hirano K. et al. Long-term results of direct and indirect endovascular revascularization based on the angiosome concept in patients with critical limb ischemia presenting with isolated below-the-knee lesions. *J. Vasc. Surg.* 2012; 55 (2):363–370.
12. Kabra A., Suresh K.R., Vivekanand V. et al. Outcomes of angiosome and non-angiosome target revascularization in critical lower limb ischemia. *J. Vasc. Surg.* 2013; 57 (1): 44–49.
13. Kret M.R., Cheng D., Azarbal A.F. et al. Utility of direct angiosome revascularization and runoff scores in predicting outcomes in patients undergoing revascularization for critical limb ischemia. *J. Vasc. Surg.* 2014; 59(1): 121–128.
14. Lejay A., Georg Y., Tartaglia E. et al. Long-term outcomes of direct and indirect below-the-knee open revascularization based on the angiosome concept in diabetic patients with critical limb ischemia. *Ann. Vasc. Surg.* 2014; 28(4):983–989.
15. Neville R.F., Attinger C.E., Bulan E.J. et al. Revascularization of a specific angiosome for limb salvage: does the target artery matter? *Ann. Vasc. Surg.* 2009; 23(3): 367–373.
16. Spillerova K., Biancari F., Leppдniemi A. et al. Differential impact of bypass surgery and angioplasty on angiosome-targeted infrapopliteal revascularization. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2015; 49(4):412–419.
17. Sбderstrбm M., Albäck A., Biancari F. et al. Angiosome-targeted infrapopliteal endovascular revascularization for treatment of diabetic foot ulcers. *J. Vasc. Surg.* 2013; 57(2):427–435.
18. Varela C., Acнn F., J. de Haro et al. The role of foot collateral vessels on ulcer healing and limb salvage after successful endovascular and surgical distal procedures according to an angiosome model. *Vasc. Endovascular Surg.* 2010; 44(8):654–660.
19. Biancari F., Juvonen T.. Angiosome-targeted low-

er limb revascularization for ischemic foot wounds: systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2014; 47(5):517–522.

20. Bosanquet D.C., Glasbey J.C., Williams I.M., Twine C.P. Systematic review and meta-analysis of direct versus indirect angiosomal revascularization of infrapopliteal arteries. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2014; 48(1):88–97.

21. Jongsma H., Bekken J.A., Akkersdijk G.P. et al. Angiosome directed revascularization in patients with critical limb ischemia. *J. Vasc. Surg.* 2017; 65 (4): 1208-1219.

22. Rashid H., Slim H., Zayed H. et al. The impact of arterial pedal arch quality and angiosome revascularization on foot tissue loss healing and infrapopliteal bypass outcome. *J. Vasc. Surg.* 2013; 57 (5): 1219–1226.

23. Azuma N., Uchida H., Kokubo T. et al. Factors influencing wound healing of critical ischaemic foot after bypass surgery: is the angiosome important in selecting bypass target artery? *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2012; 43(3):322–328.

24. Pavé M., Benadiba L., Berger L. et al. Below-the-knee angioplasty for critical limb ischemia: results of a series of 157 procedures and impact of the angiosome concept. *Ann. Vasc. Surg.* 2016;36:199–207.

25. Soares R. de A., Brochado Neto F.C., Matielo M.F. et al. Concept of angiosome does not affect limb salvage in infrapopliteal angioplasty. *Ann. Vasc. Surg.* 2016; 32: 34–40.

26. Fossaceca R., Guzzardi G., Cerini P. et al. Endovascular treatment of diabetic foot in a selected population of patients with below-the-knee disease: is the angiosome model effective? *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2013; 36(3):637–644.

27. Zheng X.T., Zeng R.C., Huang J.Y. et al. The use of the angiosome concept for treating infrapopliteal critical limb ischemia through interventional therapy and determining the clinical significance of collateral vessels. *Ann. Vasc. Surg.* 2016; 32:41–49.

28. Graziani L., Silvestro A., Bertone V. et al. Vascular involvement in diabetic subjects with ischemic foot ulcer: a

new morphologic categorization of disease severity. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2007; 33(4):453–460.

29. Alexandrescu V.A., Söderström M., Venermo M. Angiosome theory: fact or fiction? *Scand. J. Surg.* 2012; 101(2):125–131.

30. Spillerova K., Biancari F., Settembre N. et al. The prognostic significance of different definitions for angiosome-targeted lower limb revascularization. *Ann. Vasc. Surg.* 2017; 40:183–189.

31. Spillerova K., Söderström M., Albdsk A., Venermo M.. The feasibility of angiosome-targeted endovascular treatment in patients with critical limb ischemia and foot ulcer. *Ann. Vasc. Surg.* 2016; 30:270–276.

32. Alexandrescu V.A.. The angiosome concept: anatomical background and physiopathological landmarks in CLI. In: Angiosomes applications in critical limb ischemia: in search for relevance. *Torino: Minerva Medica S.p.A.* 2013; 1–9.

33. Бреговский В.Б., Карпова И.А., Алексеева Е.С. Нарушения кожной микроциркуляции в нижних конечностях при сахарном диабете: патофизиологический феномен или объект для лечения? *Сахарный диабет.* 2011; 14(3):49–53.

Bregovskiy V.B., Karpova I.A., Alekseeva E.S.. Narusheniya kozhnoy mikrocirkulyacii v nizhnikh konechnostyakh pri sakharnom diabete: patofiziologicheskiy fenomen ili obekt dlya lecheniya? [Microcirculation disturbance in lower limbs in diabetics: pathophysiological phenomenon or subject of treatment?]. *Sakharnyy diabet.* 2011;14 (3):49-53. [In Russ].

34. Utsunomiya M., Takahara M., Iida O. et al. Wound blush obtainment is the most important angiographic endpoint for wound healing. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2017; 10 (2):188–194.

35. Iezzi R., Santoro M., Dattesi R. et al. Foot CT perfusion in patients with peripheral arterial occlusive disease (PAOD): A feasibility study. *Eur. J. Radiol.* 2013; 82(9): e455–e464.

36. Reekers JA, The Role of Interventional Radiology in the Treatment of Arterial Diabetic Foot Disease. *Cardiovasc inter rad* 2016;39(10):1369–1371.