

© А. А. Фомин, Ю. В. Новиков, Д. Р. Першаков
УДК 611.16:611.778

А. А. Фомин², Ю. В. Новиков¹ и Д. Р. Першаков¹

МИКРОЦИРКУЛЯЦИЯ В КОЖЕ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ С УЧЕТОМ АНГИОСОМНОЙ ТЕОРИИ

¹ Кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии (зав. — академик РАН проф. Ю. В. Новиков); ² кафедра хирургии (зав. — канд. мед. наук И. Н. Староверов), Институт последипломного образования, Ярославская государственная медицинская академия

Изучена микроциркуляция в коже нижних конечностей с учетом ангиосомного подхода у 29 условно здоровых людей обоего пола в возрасте от 20 до 48 лет. Для этого использовали метод лазерной доплеровской визуализации. В результате исследования были разработаны нормальные показатели активности микроциркуляции в коже нижних конечностей человека, которые зависят не только от магистрального кровотока, но и от особенностей непосредственного кровоснабжения кожи. Для нивелирования физиологического разброса уровня микроциркуляции рекомендуется использовать отношение активности перфузии в искомом ангиосоме к контрольному (локтевая ямка). Полученные результаты позволят расширить применение ангиосомной теории в пластической, а также в сосудистой хирургии.

Ключевые слова: ангиосом, микроциркуляция, нижние конечности, сосудистая хирургия

До последнего времени изучение уровня микроциркуляции в тканях живого человека являлось очень трудной задачей по причине отсутствия соответствующего оборудования. Поэтому, несмотря на большую значимость таких исследований для клинической медицины, их число невелико [3].

Ангиосомная теория, разработанная G. I. Taylor и J. H. Palmer в 1987 г., разделяет тело человека на отдельные трехмерные участки тканей от кожи с её основой и мышцами вглубь до кости, имеющие свои границы и кровоснабжаемые одной питающей артерией. Таких участков, названных ангиосомами, было выделено 40 [10]. Их изучение проводилось путем введения оксида свинца с разноцветными красителями и последующим микропрепарированием. В норме каждый из ангиосомов соединен с двумя соседними посредством незначительного количества истинных анастомозов и куда чаще встречающихся «choke vessels», или неполноценных анастомозов. Они, как показали проведенные исследования, располагаются внутри одноименных тканей с наибольшей плотностью в мышечной [7].

Указанная теория была разработана для нужд реконструктивной пластической хирургии и многие годы только там и применялась. С ее учетом взятые лоскуты кровоснабжаются полноценно на всей площади, что, в свою очередь, приводит к лучшему их приживлению на месте пересадки.

Последние 3–5 лет её с успехом начали применять и в сосудистой хирургии при критической ишемии нижних конечностей с наличием некротических поражений [1, 2].

Однако более чем за 25 лет своего существования ангиосомная теория так и не вышла за рамки морфологического подхода к изучению кровоснабжения, что ограничивает области ее применения: в реконструктивной пластической хирургии лишь для определения границ лоскута или трансплантата, а в сосудистой — только в финальной стадии заболевания при появлении трофических нарушений [1, 8].

Цель настоящего исследования — определить зависимость микроциркуляции в коже нижних конечностей от особенностей строения питающих ее сосудов с учетом ангиосомной теории.

Материал и методы. Изучена микроциркуляция в коже нижних конечностей человека с учетом ангиосомного подхода с использованием аппарата Easy-LDI (Aimago, Швейцария). Для решения этой задачи были отобраны 29 человек без патологии сердечно-сосудистой системы (из них 18 женщин) в возрасте от 20 до 48 лет (в среднем 28 лет), у которых проводили оценку перфузии кожи ангиосомов нижних конечностей. Микроциркуляцию изучали новым способом — лазерная доплеровская визуализация, позволяющим бесконтактно (фокусное расстояние от излучателя-приемника до исследуемой ткани, в нашем случае кожного покрова, составляла 20 см) оценить перфузию тканей на площади в 100 см² с толщиной зондируемого слоя до 2 мм в режиме реального времени. Механизм действия схож

Сведения об авторах:

Новиков Юрий Васильевич, Першаков Даниил Романович (e-mail: irinapershakova@yahoo.com), кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии; Фомин Андрей Аполлонович (e-mail: fomin-doc@mail.ru), кафедра хирургии, Ярославская государственная медицинская академия, 150000, г. Ярославль, ул. Революционная, 5

с методом лазерной доплеровской флоуметрии и базируется на физическом законе эффекта Допплера [3].

Все измерения проводили в заранее разработанных стандартных точках с учетом известных в настоящее время границ ангиосомов и топографоанатомическим обоснованием, в стандартных условиях. В небольших и средних по площади ангиосомах кожная перфузия была изучена в одной точке (100 см^2). В наиболее интересующих зонах на нижних конечностях (с целью практического применения в сосудистой хирургии) в зависимости от размеров каждого конкретного ангиосома замеры проводили в 1–2–3 точках. Во время исследования было выделено 18 таких точек.

Числовые показатели кожной перфузии отображали в виде ару (Arbitrary Perfusion Units), или относительных перфузионных единицах, используемых лишь в представленном устройстве и соответствующих количеству эритроцитов, их линейной скорости и направленности вектора движения в объеме пространства.

Производили непрерывную запись микроциркуляции в коже в течение 5–7 с. Оценить активные и пассивные факторы, влияющие на перфузию, мы перед собой не ставили. В круг наших интересов входила оценка только общего уровня микроциркуляции в коже за определенный промежуток времени.

При обработке полученного материала числовые показатели перфузии в каждой конкретной точке у одного пациента соответствовали распределению Гаусса и были представлены нами в виде минимума, максимума, среднего и стандартного отклонения. Обобщенные данные были разделены по отношению к закону нормального распределения: либо по упомянутым выше показателям, либо в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей. Значимость различий определяли путем использования дисперсионного анализа (не- или параметрического), t-теста. Различия считали значимыми при $P < 0,05$.

Результаты исследования. На нижней конечности изучили кожную перфузию обобщенного ангиосома ягодичных артерий, границы которого совпали с ягодичной областью. Далее измеряли уровень микроциркуляции в ангиосоме передней поверхности бедра в верхней, средней и нижней третях, соответственно, так как их кровоснабжение значительно различается: в верхней трети за счет поверхностной надчревной, наружных половых, медиальной и латеральной огибающих бедренную кость артерий; в средней трети за счет мышечных ветвей от основного ствола бедренной артерии; а в нижней трети также и за счет ветвей от многочисленных анастомозов в области коленного сустава. Затем исследовали перфузию кожи задней области бедра в верхней, средней и нижней третях, соответственно отходящим от глубокой артерии бедра трех прободающих артерий, которые питают всю заднюю поверхность бедра, включая кожный покров. По медиальной поверхности бедра оценили микроциркуляцию в верхней и средней третях, кровоснабжаемых в основном за счет запирающей артерии, ее передней и задней ветвей, а также наружными половыми артериями и медиальной артерией, оги-

бающей бедренную кость. Перфузию ангиосома передней поверхности голени, кровоснабжаемого передней большеберцовой артерией, измеряли в верхней, средней и нижней третях. На задней поверхности ноги микроциркуляцию в коже ангиосомов задней большеберцовой и малоберцовой артерий измеряли в средней трети голени и в области медиальной и латеральной лодыжек. На стопе оценивали кровоснабжение кожи в области первого межпальцевого промежутка с питающей ее конечной ветвью артерии тыла стопы и на середине подошвенной части стопы, которая кровоснабжается за счет проходящей здесь артериальной дуги латеральной подошвенной артерии (рисунки). Так как полученные числовые данные перфузии кожи с учетом ангиосомной теории соответствовали закону нормального распределения, то на рисунке указаны 95% доверительные интервалы для среднего значения.

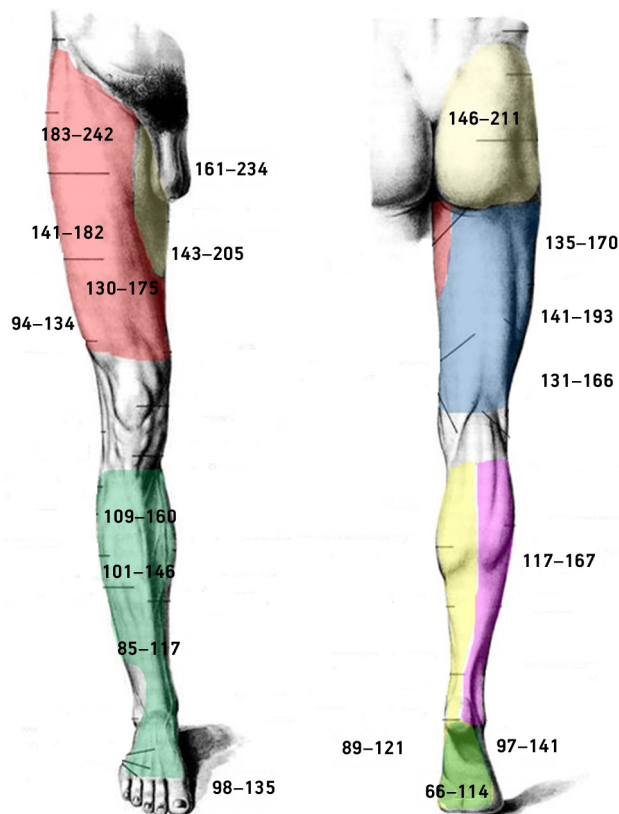
Обсуждение полученных данных. Нами впервые была изучена микроциркуляция в коже нижних конечностей человека с учетом ангиосомного подхода. В доступной литературе не было обнаружено какой-либо информации, близкой к раскрываемой в этой статье теме. Это связано в том числе и с относительной новизной самого технического устройства, имеющего всего лишь один аналог. Различия в перфузии кожи зависят от множества факторов: структурных особенностей кожного кровотока, калибра магистральной артерии и степени ее ветвления и др. Несмотря на то, что сосуды, кровоснабжающие кожу, являются ветвями более крупных, магистральных артерий [9], не было обнаружено сильной корреляции ($r > 0,75$) между ними. Этот факт заставляет задуматься о взаимосвязи строения и функций магистрального и кожного кровотока. На это влияет строение «choke vessels» и истинных анастомозов, количество которых значимо зависит от вида тканей, входящих в состав ангиосома (кожа, подкожная основа либо мышцы). При этом в коже преобладают именно неполноценные или нитевидные анастомозы (choke-vessels). Также немаловажно в указанном отношении и непосредственное кровоснабжение кожи за счет так называемых осевых сосудов, или артерий-перфорантов [4–6]. Последние делятся на прямые, которые являются ветвями питающей магистральной артерии и непосредственно подходят к дерме, и не прямые. К ним относятся перфоранты, отходящие от мышечных артериальных ветвей. Однако, как видно из полученных нами результатов, кожный кровоток никак не зависит от места расположения и диаметра этих перфорантов (самые большие из них, вплоть до

имеющих калибр 1 мм, являются прямыми и всегда проходят в местах нахождения межмышечных фасциальных перегородок). Более того, осевые сосуды на пути к коже сменяются артериями, расположенными параллельно плоскости кожного покрова. При этом последние могут располагаться как в мышцах, фасциях, подкожной клетчатке, так и непосредственно на границе с дермой.

Все указанные выше морфологические особенности напрямую зависят от степени подвижности тканей относительно друг друга, входящих в ангиосом. Там, где наблюдается наибольшая подвижность, прямые перфоранты проходят непосредственно в межмышечных фасциальных перегородках, а параллельный коже сосуд располагается в собственной фасции. Полученные результаты свидетельствуют, что нет зависимости и от глубины залегания магистральной артерии, питающей кожу в данном ангиосоме.

Таким образом, нет определенной зависимости физиологии (количественных показателей) от строения кожного кровотока. Возможно, это связано с многоуровневым звеном перехода от магистрального кровотока к кожному, с послойным расположением: магистральная артерия — осевой перфорант — сеть, расположенная у собственной фасции — вертикальные сосуды, прободающие подкожную клетчатку — сплетение, расположенное у границы с дермой, состоящие из нитевидных и полноценных анастомозов.

Как известно, активность микроциркуляции в коже является очень вариabельным показателем со значительными колебаниями у одного и того же человека при исследовании в разные временные промежутки, что не позволяет выявить необходимый уровень статистической значимости и находящуюся обычно в пределах тенденции. В проведенной работе мы постарались решить эту проблему следующим образом. Эмпирически на начальном этапе решено было выбрать уровень перфузии в локтевой ямке как контрольную точку, на основании расположения плечевой артерии сразу под собственной фасцией, в том месте, где слой подкожной основы невелик, наличия множества коллатералей и редко встречаемого поражения магистрального артериального русла верхних конечностей. В процессе статистической обработки результатов наш эмпирический выбор подтвердился. На основании этого предлагаем оперировать не абсолютными значениями микроциркуляции в коже, а отношением значения перфузии в искомом ангиосоме к таковому в локтевой ямке. Это позволит нивелировать многие из внешних (температура, физическая нагрузка) и внутренних (гормональный фон, перераспреде-



Активность перфузии ангиосомов нижних конечностей

ление объема циркулирующей крови) факторов, влияющих на естественную вариabельность кожного кровотока. В результате проведенной работы были разработаны нормы микроциркуляции в коже нижних конечностей человека с учетом ангиосомного подхода.

Теперь в ангиосомной теории, помимо морфологического, появился и функциональный подход. Это позволит расширить область применения ангиосомного подхода в различных областях клинической медицины.

ЛИТЕРАТУРА

- Alexandrescu V. and Hubermont G. Primary infragenicular angioplasty for diabetic neuroischemic foot ulcers following the angiosome distribution: a new paradigm for the vascular interventionist? *Diabetes Metab. Syndr. Obes.*, 2011, v. 4, p. 327–336.
- Attinger C.E., Evans K.K., Bulan E. et al. Angiosomes of the foot and ankle and clinical implications for limb salvage: reconstruction, incisions, and revascularization. *Plast. Reconstr. Surg.*, 2006, v. 117, № 7 (Suppl.), p. 261S–293S.
- Greco F., Ragucci M., Liuzzi R. et al. Repeatability, reproducibility and standardisation of a laser doppler imaging technique for the evaluation of normal mouse hindlimb perfusion. *Sensors*, 2013, v. 13, 500–515.
- Kappler U.A., Constantinescu M.A., Büchler U. and Vögelin E. Anatomy of the proximal cutaneous perforator vessels of the gracilis muscle. *Br. J. Plast. Surg.*, 2005, v. 58, № 4, p. 445–448.

5. Manojlović R., Milisavljević M., Tabaković D. et al. Angiosome of the fibular artery as anatomic basis for free composite fibular flap. *Srp. Arh. Celok. Lek.*, 2007, v. 135, № 3–4, p. 174–178.
6. Pan W.R. and Taylor G.I. The angiosomes of the thigh and buttock. *Plast. Reconstr. Surg.*, 2009, v. 123, № 1, p. 236–249.
7. Rozen W.M., Grinsell D., Koshima I. and Ashton M.W. Dominance between angiosome and perforator territories: a new anatomical model for the design of perforator flaps. *J. Reconst. Microsurg.*, 2010, v. 26, № 8, p. 539–545.
8. Schierle C.F., Rawlani V., Galiano R.D. et al. Improving outcomes of the distally based hemisoleus flap: principles of angiosomes in flap design. *Plast. Reconstr. Surg.*, 2009, v. 123, № 6, p. 1748–1754.
9. Taylor G.I. The blood supply of the skin. In: *Grabb and Smith's Plastic Surgery*. 6th edit. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins, 2007, p. 33–41.
10. Taylor G.I. and Palmer J.H. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. *Br. J. Plast. Surg.*, 1987, v. 40, № 2, p. 113–141.

Поступила в редакцию 21.05.2014
Получена после доработки 22.07.2014

MICROCIRCULATION IN THE SKIN OF THE LOWER EXTREMITIES WITH REGARD TO ANGIOSOME THEORY

A.A.Fomin, Yu.V.Novikov and D.R.Pershakov

Microcirculation in the skin of the lower extremities was studied in apparently healthy people of both sexes aged 20 to 48 years with regard to angiosomes approach. For this purpose the method of laser Doppler imaging was used. As a result of the study, normal parameters of microcirculatory activity in the skin of human lower extremities were developed, which depended not only on the main flow, but also on the characteristics of direct blood supply to the skin. To level the physiological variation in the activity of the microcirculation, it is recommended to use the ratio of the activity of perfusion in the angiosome examined to control one (cubital fossa). The results obtained will allow to extend the application of angiosome theory to the field of plastic and vascular surgery.

Key words: *angiosome, microcirculation, lower extremities, vascular surgery*

Department of Topographic Anatomy and Operative Surgery, Department of Surgery, Institute of Postgraduate Education, Yaroslavl' State Medical Academy

© Т.Р. Ковригина, В.И. Филимонов, 2014
УДК 612.014.46:611.018.861:599.323.4

Т.Р.Ковригина¹ и В.И.Филимонов²

СОСУДИСТАЯ СЕТЬ И НЕЙРОМЫШЕЧНЫЕ СИНАПСЫ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ В УСЛОВИЯХ СОЧЕТАННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ДЕНЕРВАЦИИ

¹ Кафедра анатомии и физиологии человека (зав. — проф. В.В. Чистяков), Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского; ² кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии (зав. — академик РАН Ю.В.Новиков), Ярославская государственная медицинская академия

Исследована икроножная мышца белых беспородных крыс-самок с 14-х по 180-е сутки после рождения в норме (контрольная группа, n=18), после неонатальной химической деафферентации (n=18), после неонатальной химической десимпатизации (n=18) и сочетанной неонатальной химической денервации (деафферентация плюс десимпатизация, n=18). Контролем служили интактные животные (n=18). Гистохимическими методами выявляли активность холинэстеразы (субстрат — тиоуксусная кислота) и щелочной фосфатазы (субстрат — нафтол AS-BS фосфат). После сочетанной химической денервации по сравнению с контролем отмечались снижение активности холинэстеразы, нивелирование ранней возрастной элиминации нейромышечных синапсов и более низкая доля сложных ферментоактивных зон, позднее формирование сосудистой петли вокруг двигательных окончаний. Сосудистая сеть характеризовалась большим диаметром и преимущественно плоскостной ориентацией сосудов. Формируемая система «мышечное волокно — двигательное окончание — сосудистая сеть» имела низкий адаптационный потенциал и тенденцию к более раннему развитию инволютивных процессов.

Ключевые слова: *скелетная мышца, нейромышечный синапс, сосудистая сеть, деафферентация, десимпатизация*

Известно, что хирургическая деафферентация органов путём удаления чувствительных узлов спинномозговых нервов сопровождается расширением просвета сосудов всех калибров, набуханием

клеток эндотелия, стиранием четкости их границ, нарушением нормального кровотока, экссудативными явлениями, инфильтрацией тканей, которые отражают нейродистрофический процесс, раз-

Сведения об авторах:

Ковригина Татьяна Руфимовна (e-mail: t-kovrigina@mail.ru), кафедра анатомии и физиологии человека, Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская, 108;

Филимонов Владимир Иванович (e-mail: filbob@mail.ru), кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии, Ярославская государственная медицинская академия, 150000, г. Ярославль, ул. Революционная, 5