

И.В. Гайворонский^{1, 2}, Н.Г. Губочкин¹, С.И. Микитюк¹,
А.А. Родионов², И.А. Горячева¹

Анатомические обоснования формирования костных трансплантатов на мышечно-сосудистой ножке в нижней трети предплечья и возможностей их перемещения

¹Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Резюме. Обосновывается анатомическая возможность формирования несвободных костных трансплантатов в нижней трети предплечья и их перемещения. Доказано, что морфометрические характеристики локтевой и лучевой костей, протяженность мест прикрепления квадратного пронатора и длины основных источников кровоснабжения, используемых для формирования несвободных костных трансплантатов на мышечно-сосудистой ножке, имеют широкий диапазон вариантной анатомии. Установлено, что васкуляризацию дистальных отделов костей предплечья осуществляют артерии, обеспечивающие кровоснабжение мышцы квадратного пронатора, в частности ветви передней межкостной, а также лучевой и локтевой артерий. Экспериментальные оперативные вмешательства по формированию и перемещению несвободного трансплантата локтевой и (или) лучевой костей на мышечно-сосудистой ножке подтвердили возможность выполнения данных оперативных вмешательств. Доказано, что питающими артериями несвободного трансплантата на мышечно-сосудистой ножке в месте прикрепления квадратного пронатора к дистальному метаэпифизу лучевой кости и нижней трети локтевой кости являются ветви передней межкостной артерии, имеющие развитую сеть анастомозов с ветвями локтевой и лучевой артерии. Размер костного трансплантата варьирует от 4 до 8 см. Костный трансплантат, сформированный в месте прикрепления квадратного пронатора, может быть перемещен в проксимальные отделы обеих костей предплечья на расстояние до 180 мм. Несвободные костные трансплантаты на основе квадратного пронатора можно перемещать в проксимальный отдел собственных костей предплечья и на соседние кости.

Ключевые слова: костный кровоснабжаемый трансплантат, мышечно-сосудистая ножка, квадратный пронатор, предплечье, локтевые суставы, дефекты костей, передняя межкостная артерия, локтевая кость, лучевая кость.

Введение. Костные трансплантаты используют при лечении больных с врожденными и приобретенными деформациями конечностей, а также с целью замещения дефектов костей и оптимизации процессов остеорепарации при нарушениях консолидации переломов [3, 5, 7, 8]. Костная пластика возможна в двух вариантах: пересадка некровоснабжаемого и пересадка кровоснабжаемого костного трансплантата. Большинство авторов методика пересадки кровоснабжаемого костного ауто-трансплантата признается наиболее эффективной, так как трансплантат не подвергается длительным процессам перестройки и рассасыванию, а также срастается с реципиентными костями в сроки, близкие к сращению переломов изучаемой области [1, 10].

Свободная пересадка предполагает пересечение и анастомозирование питающих костный ауто-трансплантат сосудов с артериями и венами реципиентной области, несвободная пересадка – перемещение костного ауто-трансплантата на собственной питающей ножке. При несвободной пересадке костного трансплантата нет необходимости в наложении микрососудистых анастомозов, что значительно уменьшает операционное время и травматичность вмешательства [4, 8].

Имеются лишь единичные работы, посвященные несвободным костным трансплантатам, формируемым в области латерального края и нижнего угла лопатки, диафиза и дистального метаэпифиза лучевой кости, дистального метаэпифиза лучевой кости и тыльной поверхности пястных костей [10]. Специальных анатомических исследований, рассматривающих анатомию предплечья в качестве донорской области для формирования несвободных кровоснабжаемых костных ауто-трансплантатов, а также обосновывающих возможности их перемещения к костям предплечья или к костям пясти, крайне мало [2, 6, 9]. Р.М. Тихилова [6] обосновывает возможность применения костных трансплантатов предплечья с использованием лучевого сосудистого пучка. Сведения о трансплантатах с использованием переднемежкостного сосудистого пучка в литературе отсутствуют.

Цель исследования. Анатомически обосновать возможности формирования костных трансплантатов на мышечно-сосудистой ножке в нижней трети предплечья для несвободной пересадки.

Материалы и методы. Морфометрические исследования локтевой и лучевой костей выполнены

на 60 скелетах взрослых людей. Протяженность мест прикрепления квадратного пронатора к изучаемым костям оценивалась на 60 препарированных полимерно-бальзамированных объектах. На 10 бальзамированных и 8 небальзамированных трупах людей контрастировали сосуды верхних конечностей и осуществляли их морфометрию. Ветви лучевой, локтевой и передней межкостной артерии, васкуляризирующие кости предплечья исследовали применительно к возможностям формирования кровоснабжаемых костных трансплантатов, пригодных для несвободной пересадки. На 3 небальзамированных и 3 бальзамированных препаратах верхних конечностей выполняли экспериментальные оперативные вмешательства по отработке методики несвободной пересадки сформированных костных трансплантатов.

Различные трансплантаты на мышечно-сосудистых ножках формировали из нижней трети диафиза локтевой кости и дистального метаэпифиза лучевой кости. В качестве сосудистых ножек использовали ветви передней межкостной артерии. Формирование костных трансплантатов осуществляли с помощью осциллирующей пилы «Aescular Acculan III» с пильными полотнами «Rapid Action». Изучали морфометрические характеристики сформированных костных трансплантатов и их сосудистой ножки, перемещали трансплантаты в различные отделы предплечья и к костям пясти при обязательном сохранении питающих сосудов.

Основными требованиями к проводимому исследованию были: установление возможности формирования кровоснабжаемых костных трансплантатов с сохранением основных осевых сосудов предплечья – лучевой и локтевой артерии, определение хорошо васкуляризируемых участков лучевой и локтевой кости и возможность забора достаточного по объему количества костной ткани.

Собранные количественные данные были обработаны с использованием методов вариационной

статистики. Для выявления значимости между средними величинами определялся t-критерий значимости Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. Показано, что кровоснабжаемыми костными трансплантатами с сохранением основных осевых сосудов предплечья являются места прикрепления квадратного пронатора с макроскопически видимыми источниками кровоснабжения. Исследуемые размеры костей предплечья у мужчин оказались больше на 5–10%, чем у женщин (табл. 1).

Такая же тенденция характерна и для размеров протяженности мест прикрепления квадратного пронатора к локтевой и лучевой костям. При сравнении морфометрических данных, полученных на верхних конечностях, разницы в исследуемых размерах контралатеральных сторон не выявлено, что позволило создать общую статистическую базу исследования. Если исходить из протяженности линии прикрепления квадратного пронатора, то длина формируемых костных трансплантатов на лучевой кости по сравнению с локтевой может быть больше на 15–20%.

Установлено, что квадратный пронатор прикрепляется к обеим костям предплечья в нижней трети на передней поверхности предплечья. Проксимальный край квадратного пронатора отстоит от линии шиловидных отростков обеих костей предплечья по локтевой кости на $5,8 \pm 1,3$ см, по лучевой кости – на $5,1 \pm 1,3$ см. Дистальный край квадратного пронатора отстоит от линии шиловидных отростков обеих костей предплечья по локтевой кости на $1,1 \pm 0,2$ см, по лучевой кости – на $1,1 \pm 0,1$ см (рис. 1).

Выявлено, что основным источником кровоснабжения квадратного пронатора является передняя межкостная артерия и ее ветви, которые имеют большое значение применительно к возможностям формирования костных трансплантатов с фрагментами обеих костей предплечья. В связи с этим исследовались

Таблица 1

Морфометрические характеристики костей предплечья и протяженность линии прикрепления к ним квадратного пронатора

Показатель	Средние размеры, мм		t-критерий Стьюдента
	мужчины	женщины	
Длина всей лучевой кости	230,1±14,1	214,9±13,3	2,12
Длина диафиза лучевой кости	195,4±13,8	180,3±19,7	2,11
Диаметр проксимальной части диафиза лучевой кости	13,6±1,4	12,8±1,2	1,8
Диаметр средней части диафиза лучевой кости	15,4±1,8	14,0±1,2	1,5
Диаметр нижней части диафиза лучевой кости	17,8±1,4	16,4±1,8	1,7
Длина всей локтевой кости	253,1±8,5	225,6±10,8	2,14
Длина диафиза локтевой кости	202,4±7,4	177,1±9,3	2,13
Диаметр проксимальной части диафиза локтевой кости	17,4±0,8	16,6±2,2	1,4
Диаметр средней части диафиза локтевой кости	15,1±1,1	14,1±0,8	1,7
Диаметр нижней части диафиза локтевой кости	9,2±0,8	8,4±0,6	1,8
Протяженность линии прикрепления квадратного пронатора к лучевой кости	55,4±3,2	48,3±4,1	2,2
Протяженность линии прикрепления квадратного пронатора к локтевой кости	47,1±3,3	39,4±4,2	2,1

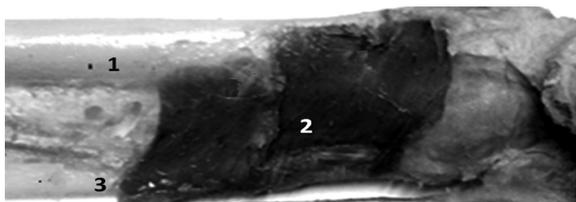


Рис. 1. Протяженность и места прикрепления квадратного пронатора к костям предплечья: 1 – лучевая кость; 2 – квадратный пронатор; 3 – локтевая кость

морфометрические характеристики и топографо-анатомические отношения передней межкостной артерии. Данная артерия во всех наблюдениях брала свое начало от общей межкостной артерии на уровне бугристости лучевой кости. Диаметр артерии варьировал от 1,8 до 2,6 мм ($2,2 \pm 0,3$ мм). Длина ствола передней межкостной артерии от бифуркации общей межкостной артерии до места ее вхождения в квадратный пронатор варьировала от 15 до 22 см и в среднем составила $18,5 \pm 3,6$ см (табл. 2).

Таблица 2

Морфометрические характеристики передней межкостной артерии

Показатель	Min	Max	$X \pm m_x$
Длина сосудистой ножки, мм	150	220	$185,1 \pm 35,7$
Диаметр основания сосудистой ножки, мм	1,8	2,6	$2,1 \pm 0,3$
Количество надкостничных ветвей	2	5	$3,6 \pm 1,2$

На уровне середины квадратного пронатора передняя межкостная артерия отдает ветви к последнему, прободает межкостную мембрану, выходит на тыльную поверхность и принимает участие в образовании тыльной сети запястья.

Большие различия в длине передней межкостной артерии обусловлены различной длиной предплечья и индивидуальными особенностями расположения уровня ее формирования и деления на ветви. В верхней трети предплечья передняя межкостная артерия с сопутствующими венами и передним межкостным нервом предплечья проецируется на 0,5–1 см кнаружи от внутреннего края длинного сгибателя большого пальца кисти. Там же от нее отходит артерия, сопровождающая срединный нерв. На всем протяжении она располагалась на передней поверхности межкостной мембраны предплечья и отдавала ветви к мышцам и костям предплечья. Артериальные ветви ориентированы перпендикулярно оси предплечья. Диаметр сосудов костей предплечья варьировал от 0,7 до 1,3 мм и в среднем составил $1,0 \pm 0,2$ мм, а их количество достигало от 5 до 8 ($6,4 \pm 1,1$). Их длина до вхождения в надкостницу или мышцы предплечья составляла в среднем от 0,5 до 1,5 см. В квадратный пронатор артерия входила в области его середины (на 4–4,5

см проксимальнее линии, соединяющей шиловидные отростки обеих костей предплечья).

В местах прикрепления квадратного пронатора наблюдалось от 2 до 5 постоянных ветвей передней межкостной артерии, подходящих к каждой из костей предплечья. Вначале они проходили в толще данной мышцы, а затем проникали в надкостницу локтевой и лучевой костей (рис. 2).



Рис. 2. Ветви передней межкостной артерии в месте прикрепления к лучевой кости. 1 – квадратный пронатор; 2 – лучевая артерия; 3 – передняя межкостная артерия и ее ветви, подходящие к надкостнице лучевой кости

Нами выявлены дополнительные источники кровоснабжения не только мышцы, но и надкостницы дистальных метаэпифизов костей предплечья, которые являются ветвями локтевой и лучевой артерий. При этом в мышцу проникают от двух до четырех артериальных ветвей локтевой артерии. Они отходят от локтевой артерии практически под прямым углом. Диаметр данных сосудов не превышал 1 мм, длина до входа в мышцу составляла от 5 до 10 мм. Также во всех наблюдениях к квадратному пронатору отходили ветви от лучевой артерии. Их количество варьировало от двух до шести. Эти артериальные ветви были ориентированы перпендикулярно оси предплечья. Их диаметр был от 0,7 до 1,3 мм, а длина до входа в мышцу составляет 5–10 мм. Указанные ветви как локтевой, так и лучевой артерии анастомозировали с ветвями передней межкостной артерии в толще мышцы. Наличие внутриорганных сосудистых соустьев в условиях перевязки ветвей лучевой или локтевой артерии при формировании трансплантата сохраняет жизнеспособность мышечно-костному лоскуту за счет передней межкостной артерии.

Таким образом, сосудистое снабжение дистальных участков обеих костей предплечья в месте прикрепления квадратного пронатора обеспечивает возможность формирования несвободных костно-мышечных трансплантатов с фрагментами лучевой, локтевой кости или обеих костей предплечья одновременно на питающей ножке, включающей переднюю межкостную артерию и сопутствующие одноименные вены. Рассматриваемые трансплантаты, включающие кровоснабжаемые участки костей предплечья, могут быть перемещены в несвободном варианте в различные отделы предплечья.

Выявленные анатомические особенности васкуляризации костей предплечья ветвями передней межкостной артерии в нижней трети определили целесообразность формирования и клинического использования трех видов костно-мышечных трансплантатов:

- костно-мышечный трансплантат с участком лучевой кости в месте прикрепления квадратного пронатора на проксимальной сосудистой ножке;
- костно-мышечный трансплантат с участком локтевой кости в месте прикрепления квадратного пронатора на проксимальной сосудистой ножке;
- двухостровковый костно-мышечный трансплантат с участками локтевой и лучевой костей в месте прикрепления квадратного пронатора на проксимальной сосудистой ножке.

Моделирование разрабатываемой операции на трех бальзамированных и трех небальзамированных препаратах верхней конечности показало возможность перемещения фрагмента локтевой кости из ее нижней части диафиза в различные отделы предплечья с сохранением питающей сосудистой ножки – передней межкостной артерии и её ветвей.

Длина сформированного костного трансплантата может варьировать от 4 до 6 см, а поперечный размер не должен превышать одной трети толщины локтевой кости.

Для перемещения выделенного кровоснабжаемого трансплантата локтевой кости проксимальнее места выделения выполняли рассечение брюшка квадратного пронатора поперечно на расстоянии 1 см медиальнее от места прикрепления его к лучевой кости. После чего расслаивали мышцы передней поверхности предплечья до межкостной мембраны с лежащей на ней артерией. Далее мобилизовали переднюю межкостную артерию и сопутствующие вены на необходимое расстояние в направлении реципиентной области, соблюдая требования микрохирургической техники. Пределом выделения и точкой ротации питающей ножки кровоснабжаемого костного трансплантата является начало разделения общей межкостной артерии на переднюю и заднюю межкостную артерии. Костно-мышечный трансплантат перемещали с его питающей сосудистой ножкой в проксимальном направлении (рис. 3).

Моделирование формирования и перемещения костного фрагмента лучевой кости из ее нижней части в различные отделы предплечья с сохранением питающей сосудистой ножки – передней межкостной артерии и одноименных сопутствующих вен представлено на рисунке 4.

Длина трансплантата лучевой кости может варьировать от 4 до 7 см, а поперечный его размер также не должен превышать одной трети толщины лучевой кости на соответствующем уровне (из-за риска ее перелома в месте формирования трансплантата).

Для перемещения сформированного кровоснабжаемого трансплантата локтевой (лучевой) кости на тот же уровень соседней кости его разворачивали на

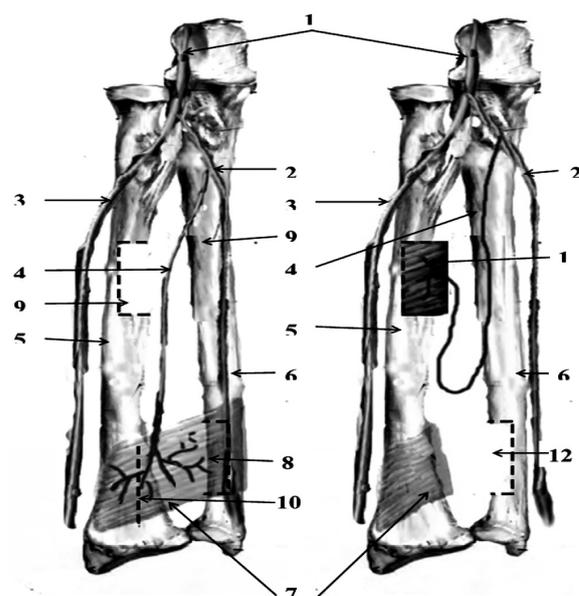


Рис. 3. Схема формирования и перемещения трансплантата дистальной трети локтевой кости: 1 – плечевая артерия; 2 – локтевая артерия; 3 – лучевая артерия; 4 – передняя межкостная артерия; 5 – лучевая кость; 6 – локтевая кость; 7 – квадратный пронатор; 8 – место выделения трансплантата локтевой кости; 9 – дефект локтевой кости; 10 – место пересечения квадратного пронатора; 11 – трансплантат локтевой кости перемещен в реципиентную область лучевой кости; 12 – дефект донорской кости

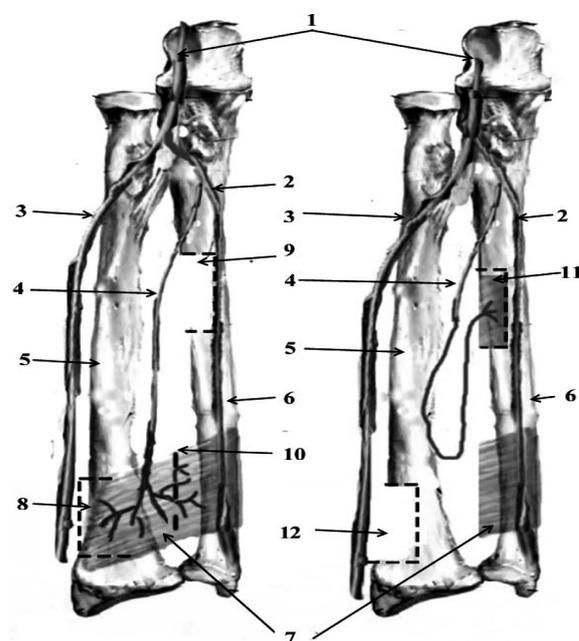


Рис. 4. Схема формирования и перемещения трансплантата дистальной трети лучевой кости: 1 – плечевая артерия; 2 – локтевая артерия; 3 – лучевая артерия; 4 – передняя межкостная артерия; 5 – лучевая кость; 6 – локтевая кость; 7 – квадратный пронатор; 8 – место выделения трансплантата лучевой кости; 9 – дефект локтевой кости; 10 – место пересечения квадратного пронатора; 11 – трансплантат лучевой кости перемещен в реципиентную область локтевой кости; 12 – дефект донорской кости

180°. В последнем варианте отсутствовала необходимость мобилизации передней межкостной артерии на всем ее протяжении, поэтому фигурный разрез кожи выполняли от условной линии, соединяющей шиловидные отростки обеих костей предплечья проксимально по передней поверхности нижней трети предплечья на $11,5 \pm 2,5$ см, тем самым обеспечивали доступ к месту прикрепления квадратного пронатора к лучевой и локтевой кости и к месту входа передней межкостной артерии в эту мышцу.

Существует также возможность формирования двухостровкового фрагмента лучевой и локтевой кости из их нижних частей в месте прикрепления квадратного пронатора и его перемещения в различные отделы предплечья с сохранением питающей сосудистой ножки – передней межкостной артерии и одноименных сопутствующих вен. Этапы моделирования и перемещения кровоснабжаемого двухостровкового трансплантата обеих костей предплечья совпадают с описанными выше для локтевой и лучевой кости, отличаясь тем, что сохраняется единое мышечное брюшко квадратного пронатора для обоих костных фрагментов.

Таким образом, подтверждена реальность выполнения моделировавшихся операций несвободной пересадки кровоснабжаемых костных трансплантатов, выделенных на переднем межкостном сосудистом пучке. Кроме того, получены сведения о микрохирургической анатомии кровеносных сосудов в зонах кровоснабжения лучевой, локтевой и передней межкостной артерий, а также обоснованы новые операции несвободной пластики кровоснабжаемыми костными трансплантатами (табл. 3).

Показано, что в составе мышцы квадратного пронатора к надкостнице лучевой и локтевой костей в нижней трети предплечья идут постоянные сосуды – мышечно-надкостничные ветви передней межкостной артерии. Дополнительные источники кровоснабжения квадратного пронатора – ветви локтевой и лучевой артерии анастомозируют с ветвями передней межкостной артерии в толще мышцы. При формировании трансплантата в условиях перевязки ветвей лучевой или локтевой артерии мышечно-костный лоскут сохраняет жизнеспособность за счет передней межкостной артерии. Это свидетельствует о возможности взятия кровоснабжаемых костных трансплантатов из рассматриваемой донорской области. Выделение трансплантата лучевой кости размерами 4–8 см на мышечно-сосудистой ножке позволяет его пере-

местить на тот же уровень локтевой кости. Помимо этого, имеется возможность перемещения кровоснабжаемого костного трансплантата, формируемого на переднем межкостном сосудистом пучке, фрагмента диафиза локтевой кости длиной до 6 см.

Таким образом, питающими артериями несвободных костных трансплантатов на мышечно-сосудистой ножке в дистальных отделах костей предплечья являются ветви передней межкостной артерии. Размер костных трансплантатов определяется величиной дефекта реципиентной области и варьирует от 4 до 8 см.

Выводы

Морфометрические характеристики локтевой и лучевой костей, протяженность мест прикрепления квадратного пронатора и длины основных источников кровоснабжения, используемых для формирования несвободных костных трансплантатов на мышечно-сосудистой ножке, имеют широкий диапазон вариантной анатомии, что требует индивидуальных подходов при оценке данных параметров.

Экспериментально обоснована анатомическая возможность формирования несвободных костных трансплантатов на сосудистой ножке в области костей предплечья и их перемещения на соседнюю кость, а также в среднюю и верхнюю треть предплечья.

Литература

1. Белоусов, А.Е. Пластическая, реконструктивная и эстетическая хирургия / А.Е. Белоусов. – СПб.: Гиппократ, 1998. – 743 с.
2. Гайворонский, И.В. Анатомическое обоснование формирования несвободных костных трансплантатов на верхней конечности / И.В. Гайворонский, С.И. Микитюк, Н.Г. Губочкин // Морфология. – 2014. – № 4. – С. 69–74.
3. Гайдуков, В.М. Ложные суставы / В.М. Гайдуков. – СПб.: Наука, 1995. – 204 с.
4. Родоманова, Л.А. Реконструктивная микрохирургия верхней конечности / Л.А. Родоманова, А.Г. Польшкин // Травматология и ортопедия России. – 2006. – № 4. – С. 15–19.
5. Ткаченко, С.С. Костная гомопластика / С.С. Ткаченко. – Л.: Медицина, 1970. – 295 с.
6. Тихилов, Р.М. Анатомо-клинические обоснования вариантов реконструкции кисти и предплечья лоскутами на лучевом сосудистом пучке / Р.М. Тихилов // Травматология и ортопедия России. – Прилож. – 2008. – № 2. – С. 40.
7. Шаповалов, В.М. Военная травматология и ортопедия / В.М. Шаповалов. – СПб.: Морсар, 2004. – 678 с.
8. Шведовченко, И.В. Преимущества пластики дефектов костей кровоснабжаемыми ауто трансплантатами / И.В. Шведовченко, С.И. Голяна, А.Б. Орешков // Травматология и ортопедия России. – 2006. – № 2. – С. 80–81.

Таблица 3

Морфометрические характеристики несвободных костных трансплантатов нижней трети предплечья и питающих их артерий, мм

Локализация костного трансплантата	Характеристика трансплантата		Питающий сосуд	Характеристика питающего сосуда	
	размеры	радиус перемещения		диаметр	длина
Дистальный отдел локтевой и лучевой костей	40×7×5	185,5±40,1	передняя межкостная артерия	2,2±0,3	185±35,7

9. Wood, M.B. Massive bone defects of the upper limb: reconstruction by vascularized bone transfer / M.B. Wood, A.T. Bishop // Hand Clin. – 2007. – Vol. 23, № 1. – P. 49–56.
10. Merlino, G. Reverse radial artery bone flap reconstruction of segmental metacarpal losses / G. Merlino, M. Borsetti, M. Boltri // J. Hand Surgery. – 2007. – Vol. 32. – P. 98–101.
-

I.V. Gaivoronskiy, N.G. Gubochkin, S.I. Mikityuk, A.A. Rodionov, I.A. Goryacheva

Anatomic substantiation of formation of bone grafts on muscle-pedicle in lower third of the forearm and the possibility of their transplantation

***Abstract.** In order to study the possibility of forming an anatomic non-free bone grafts in the lower third of the forearm, and their transposition. It was proved that morphometric characteristics of ulnar and radial bones, the extent of places of an attachment of a quadratus pronator and length of the main sources of blood supply used for formation of non-free bone grafts on a musculo-vascular pedicle have the wide range of alternative anatomy. It was found that the vascularization of the distal part of forearm also realizes the arteries that provide blood flow to the quadratus pronator, in particular the branches of anterior interosseous arteria, and the arteries radialis and ulnaris. Experimental surgery of the formation and transposition of non-free graft ulna and (or) radius on the musculo-vascular pedicle proved the possibilities of these operations. It was found that the feeding arteries of the non-free graft on the musculo-vascular pedicle in the place of attachment of the quadratus pronator to the distal metaepiphysis of the radial bone and the lower third of the ulna – are branches of the anterior interosseous artery, that developed a network of anastomoses with branches of the ulnaris and radialis arteries. The bone graft size varies from 4 to 8 cm. The bone graft that is formed at the site of the attachment of pronator quadratus muscle, can be moved in the proximal sections of both bones of the forearm at a distance of 180 mm. Not free bone grafts on the basis of pronator quadratus muscle can be moved to proximal parts of forearm bones and to the next bones.*

Key words: bone blood grafts, musculo-vascular pedicle, pronator quadratus muscle, forearm, false joint, bone defects, anterior interosseous artery, ulnar bone, radial bone.

Контактный телефон: 8-911-917-99-93; e-mail: i.v.gaivoronsky@mail.ru