

ДОЛГАНОВА Т. И., ШАБАЛИН Д. А., ШИХАЛЕВА Н. Г., ТАРЕЛКИН Е. С.

Функциональные резервы микроциркуляции при продольной и поперечной тракции тканей мини-фиксаторами *in vivo*

Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия
им. акад. Г. А. Илизарова
640014, Россия, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6
e-mail: office@rncvto.ru

Реферат

Цель исследования — сравнительная оценка функциональных резервов микроциркуляции в создаваемых *in vivo* дополнительных покровных тканей кисти при продольном и поперечном тракционном воздействии мини-фиксаторами.

Материал и методы. На этапах лечения обследованы 20 пациентов с посттравматической патологией кисти методиками УЗДГ («Минимакс-Допплер К», датчика 20 МГц, С.-Петербург), лазерной флоуметрии (BLF21 Transonic Systems Inc., США), чрескожной полярографии Model 840 (VFD, США), с электродом типа «Clark». Для изучения механизмов, участвующих в регуляции тканевого кровотока, использовали местную ишемическую пробу с установкой окклюзионной манжеты на предплечье.

Результаты исследования. Динамика линейной систолической скорости кровотока пальцевых артерий однонаправлена в обеих группах пациентов: увеличение в 1,5–3 раза ($p \leq 0,05$) относительно значений интактной конечности с увеличением доли шунтового кровотока в спектрограмме УЗДГ. Выявлены различия в реактивности сосудов прекапиллярного звена при поперечной (когда тракционные усилия прилагаются только к мягкотканому компоненту) и продольной (когда формируется костный дистракционный регенерат) тракции тканей. На фоне вазодилатации сосудов при продольной тракции тканей преобладает гиперемический тип микроциркуляции, при поперечной тракции — нормореактивный тип. Период полувосстановления КК при продольной тракции тканей в увеличен 2 раза, при поперечной тракции — в 4 раза относительно значений интактной конечности.

Выводы. Выявлены различия в реактивности сосудов прекапиллярного звена при поперечной и продольной тракции тканей кисти. По данным ЛДФ, при тракционном воздействии мини-фиксаторами на фоне клинических признаков ишемии тканей регистрируются сохраненные резервные возможности капиллярного русла, но значительно снижен период полувосстановления КК — до 25–40 с и длительность реактивной гиперемии — до 2–3 минут.

Ключевые слова: микроциркуляция, лазерная флоуметрия, парциальное давление газов, продольная и поперечная тракция тканей кисти.

Введение

Принципиально новым решением проблемы хирургической реабилитации больных с патологией кисти стал метод управляемого чрескостного дистракционного остеосинтеза, предложенный академиком Г. А. Илизаровым. Пусковым фактором, стимулирующим регенераторные процессы костной и всех окружающих ее тканей, служит напряжение растяжения, создаваемое и постоянно поддерживаемое с помощью дистракционного аппарата [6]. Продольное и поперечное тракционное воздействие мини-аппаратом позволяет осуществлять дозированное удлинение дистально расположенных сохранившихся фаланг пальцев или их фрагментов и создание мягкотканного резерва для пластических операций [11].

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на исход операции, является состояние кровоснабжения оперируемых пальцев [4]. В эксперименте показано, что процесс просто растягивания кожи более

чем на 20 % сопровождается увеличением жесткости гладких мышц сосудистой стенки [12], изменением их вазореактивности [15], резким падением кровотока, уменьшением числа перфузируемых капилляров, их диаметра и извилистости [10], что приводило к нарушению транспорта кислорода в тканях [18]. Рост тканей, напротив, сопровождается повышением капиллярного кровотока за счет увеличения отношения «капилляры/ткань» в 20 и более раз и плотности капилляров [17].

Для оценки параметров микроциркуляции в клинике наибольшее значение имеют показатели постишемической пробы, которые позволяют выявить адаптационные резервы системы микроциркуляции, оценить состояние механизмов регуляции тканевого кровотока, диагностировать критическую и субкритическую ишемию тканей [7], определять функциональный резерв микроциркуляции [5]. По данным лазерной флоуметрии, при закрытых трав-

матических повреждениях костной ткани регистрируется увеличение кожного кровотока над областью травмы [2, 14].

При лечении сегментов кисти мини-аппаратами, основой которых является аппарат Илизарова, важное практическое значение имеет создание *in vivo* дополнительной площади покровных тканей как продольной, так и поперечной пролонгированной тракцией. Проблема объективной оценки биологического состояния мягких тканей кисти в процессе воздействия на них дистракционных усилий, особенностей физиологических механизмов адаптационных резервов периферической гемодинамики при продольной и поперечной тракции остается малоизученной. Потребность в углубленном изучении тканевых и клеточных процессов, происходящих в тканях под влиянием дистракции аппаратами внешней фиксации, с целью создания оптимальных, физиологически обоснованных методик лечения культей пальцев кисти выходит на первый план.

Цель исследования — дать сравнительную оценку функциональным резервам микроциркуляции в создаваемых *in vivo* дополнительных покровных тканях кисти при продольном и поперечном тракционном воздействии у пациентов с посттравматической патологией кисти.

Материал и методы исследования

У 20 пациентов проводилось исследование периферической гемодинамики кисти методом ультразвуковой доплерографии артерий и вен (УЗДГ) на ультразвуковом диагностическом приборе «Минимакс-Допплер К» (С.-Петербург) при помощи датчика с рабочей частотой 20 МГц (рис. 1, А). Оценивались показатели стандартного автоматического заключения УЗДГ: V_s (см/с), Q_s (мл/с) — максимальная линейная и объемная систолическая скорости по кривой средней скорости; V_m (см/с) — средняя скорость по кривой средней скорости; V_{Akd} (см/с) — конечная диастолическая скорость по кривой средней скорости; рассчитывался индекс Гослинга (PI) и индекс Пурсело (RI). Частота исследования методом УЗДГ — начало дистракции (5–7-й день после операции) и с интервалом 10–14 дней до окончания периода дистракции.

Для оценки микроциркуляции тканей кожи использована лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) на установке BLF21 фирмы Transonic Systems Inc. (США). В 1992 г. European Laser Doppler Users Group было предложено применять при обозначении получаемых величин термин «перфузионные единицы» (пф. ед.). Для изучения механизмов, участвующих в регуляции тканевого кровотока, использовали местную ишемическую пробу с установкой окклюзионной манжеты на предплечье. После регистрации данных в покое (ККпок, пф. ед.) и после 3-минутной ишемии (ККпик, пф. ед.) производился расчет: индекса пикового кровотока (ИПК, % = $KK_{пик}/KK_{пок} \cdot 100$ %) — прирост капиллярного кровотока после прекращения 3-х минутной окклюзии; Δt , с — интервал времени от снятия окклюзии до появления максимального прироста капиллярного

кровотока; периода полувосстановления капиллярного кровотока ($T_{1/2}$, с) и длительности реактивной гиперемии (Т, с) — интервал времени от появления максимального прироста капиллярного кровотока до его восстановления к исходным значениям.

Для исследования газового режима тканей использовали чрескожный мониторинг напряжения кислорода и углекислого газа Model 840 (VFD, США), согревающий датчик ($t=44^\circ$) с модифицированным электродом типа «Clark» для длительного определения pO_2 и pCO_2 . Напряжение кислорода и углекислого газа регистрировали в покое, во время 3-минутной ишемической пробы (через каждую минуту) и в течение 10 мин постишемической реактивной гиперемии с интервалом в 30 с.

Регистрировали следующие показатели: исходные значения pO_2 и pCO_2 ; время полувыведения кислорода ($T_{1/2\text{вывед}} pO_2$, с); время полувосстановления напряжения кислорода ($T_{1/2\text{восст.}} pO_2$, с); время регистрации максимального прироста углекислого газа ($tpCO_2$, с), прирост напряжения углекислого газа ΔpCO_2 , %. На полученных графиках динамики pO_2 рассчитывался балансовый дефицит кислорода (БДК, усл. ед.) как площадь фигуры, ограниченная кривой pO_2 ниже значений полувыведения и полувосстановления pO_2 .

Датчики ЛДФ и «Clark» устанавливали в области, где ткани подвергаются тракционным воздействиям (I межпальцевой промежуток, над пястной костью между опорами аппарата наружной фиксации) (рис. 1, Б). Если площадь тканей позволяла, то датчики устанавливали одновременно, если площадь тканей была ограничена, то исследования делали последовательно. Исследования проводились однократно в конце периода дистракции, когда достигнуто максимально возможное увеличение мягких тканей.

Методика продольной тракции (10 человек) заключалась в дозированном удлинении пястной кости, культей проксимальной фаланги I пальца кисти. Остеотомию осуществляли в зоне метафиза или на вершине деформации кости. Дистракцию начинали на 5–7-е сутки после операции в темпе от 0,25 до 0,75 мм/сут. Темп удлинения не являлся постоянным в течение всего периода дистракции и определялся как субъективными ощущениями пациента, так и состоянием перифокальных мягких тканей кисти и интенсивностью процесса регенерации костной ткани по данным контрольных рентгенограмм. Субъективное ощущение пациентом чувства боли во время дистракции свидетельствует о чрезмерном натяжении мягких тканей и является сигналом для временного прерывания дистракции (на 2–3 дня), чтобы дать мягким тканям время на адаптацию к новой достигнутой длине кости. Длительность периода дистракции составляла 1,5–2 месяца. Методика выгодна в функциональном отношении, так как при ее использовании не фиксируются смежные суставы, поэтому весь период лечения удлиняемые культя не теряют своих функциональных возможностей.

Методика поперечной тракции тканей (10 человек, из них у 3 пациентов клинически отмечены признаки ишемии тканей — нарастание болевого синдрома и изменение окраски кожных покровов)

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

выполнялась при культе первого луча кисти на уровне пястной кости с целью восстановления функции захвата между I и II пястной костью в I межпальцевом промежутке. Она заключалась в дозированном перемещении фаланг пальца и пястной кости I луча кисти при помощи аппарата наружной фиксации для создания запаса мягких тканей в I межпальцевом промежутке с последующей фиксацией полученного мягкотканого регенерата, что позволяло осуществлять непосредственно пластику межпальцевого промежутка по Кронину и Лимбергу. Поперечную тракцию для создания запаса кожи предпочтительно начинать после достижения необходимого удлинения, с темпом 1–2 мм в сутки. Критерием необходимого запаса кожи для осуществления пластики является отведение I пястной кости относительно оси II до 50–60°. Длительность периода distraction составляла 2 недели – 1,0 месяц.

Статистическая обработка данных производилась с помощью пакета анализа данных Microsoft EXCEL-2000, дополненного разработанными И. П. Гайдышевым (2004) [1] программами, непараметрической статистики и программами оценивающими характер распределения выборочных совокупностей «AtteStat». Для представления цифрового материала использовалась описательная статистика. Количественные характеристики выборочных совокупностей ограничивались параметрами, представленными в таблице в виде $M \pm m$ (средняя арифметическая \pm ошибка средней, число наблюдений — n). Для выявления различий между ними использовался непараметрический критерий Вилкоксона для связанных и независимых выборок.

Результаты исследования и их обсуждение

При тракционном воздействии на ткани динамика линейной и объемной систолической скорости пальцевых артерий однонаправлена в обеих группах пациентов. В процессе создания запаса кожи межпальцевых промежутков между удлиняемыми культями лучей кисти (поперечная тракция) с первых дней distraction регистрируется увеличение в 1,5–3 раза ($p \leq 0,05$) относительно значений интактной

конечности расчетных показателей максимальной линейной скорости и по кривой средней скорости кровотока. Показатели V_{Akd} более 3,0 и RI менее 1,0 свидетельствуют об увеличении доли шунтового кровотока в спектрограмме УЗДГ и преобладание венозной компоненты в доплерограмме.

В начале процесса продольной тракции (до 25 % удлинения культи фаланг пальцев) не выявлено достоверной динамики показателей линейной и объемной скорости кровотока по пальцевым артериям. К окончанию периода distraction культей фаланг пальцев (100–150 % удлинения) регистрируется компенсаторная реакция пальцевых артерий на метаболический запрос и кислородные потребности удлиняемых тканей: увеличение (относительно значений «до лечения») линейной систолической скорости на 70–100 % ($p \leq 0,05$), средней скорости на 80–100 % ($p \leq 0,05$), но сохранялось снижение на 20–30 % конечной диастолической скорости (V_{Akd}).

При поперечной тракции (табл. 1) регистрировали нормореактивный тип реакции капиллярного кровотока на окклюзионную пробу: значения капиллярного кровотока в покое и резервные возможности капиллярного русла достоверно не отличались от значений интактной конечности. Но период полувосстановления КК увеличивался в 4 раза, и длительность реактивной гиперемии — в 2 раза. При этом менялся общий вид кривой, преобладал волнообразный характер восстановления капиллярного кровотока во время реактивной гиперемии, что является следствием неустойчивого тонуса капиллярного русла.

При продольной тракции у пациентов без клинических признаков ишемии тканей к окончанию периода удлинения регистрируем вазодилатацию и увеличение притока крови в микроциркуляторное русло, гиперемический тип микроциркуляции [13]. Увеличенному в 2–3 раза капиллярному кровотоку в покое соответствовало и увеличение в 3–4,5 раза значений капиллярного кровотока после 3-минутной ишемической пробы. ИПК, отражающий резервные возможности капиллярного русла, увеличивался, в среднем на 50 %. Длительность реактивной гиперемии также увеличивалась в 2 раза, но период полу-

Показатели лазерной доплеровской флоуметрии кожи в процессе лечения ортопедической патологии кисти мини-фиксаторами ($M \pm m$)

Таблица 1

Показатель	Интактная конечность ($n=20$)	Больная конечность		
		Поперечная тракция ($n=10$)	Продольная тракция ($n=10$)	
			Без ишемии ($n=7$)	С ишемией ($n=3$)
ККпок., пф. ед.	$5,54 \pm 0,74$	$5,3 \pm 0,21$	$15,4 \pm 1,77^*$	$2,1 \pm 0,12^*$
ККпик., пф. ед.	$12,5 \pm 0,89$	$11,9 \pm 0,38$	$56,5 \pm 6,15^*$	$4,5 \pm 0,26^*$
ИПК, %	$228,0 \pm 17,89$	$230,5 \pm 19,3$	$360,0 \pm 30,8^*$	$220,0 \pm 25,0^*$
Δt , с	$10,0 \pm 0,5$	$45,0 \pm 2,15^*$	$45,0 \pm 2,17^*$	$15,0 \pm 5,0$
$T_{1/2}$, с	$97,1 \pm 0,52$	$390,0 \pm 21,6^*$	$240,0 \pm 15,7^*$	$35 \pm 5,99^*$
T , с	$250,0 \pm 0,38$	$540,0 \pm 28,6^*$	$560,0 \pm 20,4^*$	$150,0 \pm 30,0^*$

Здесь и далее: * — различие параметров относительно значений интактной конечности, $P \leq 0,05$.

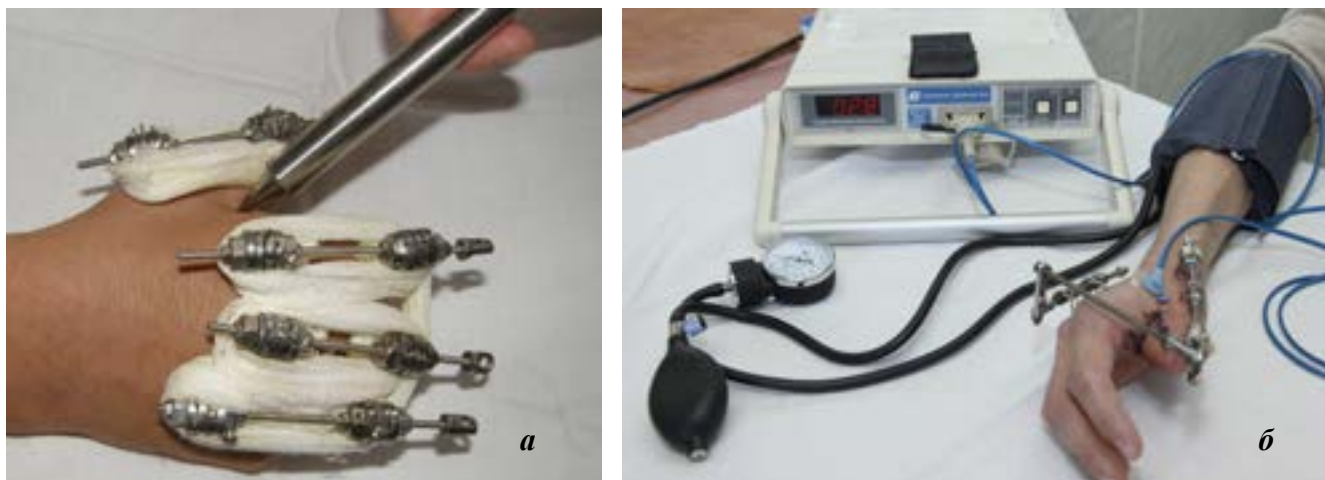


Рис. 1. А — исследование собственной пальцевой артерии методом УЗДГ фаланги I пальца кисти при ее продольной тракции; Б — исследование капиллярного кровотока методом лазерной флоуметрии при поперечной тракции I межпальцевого промежутка

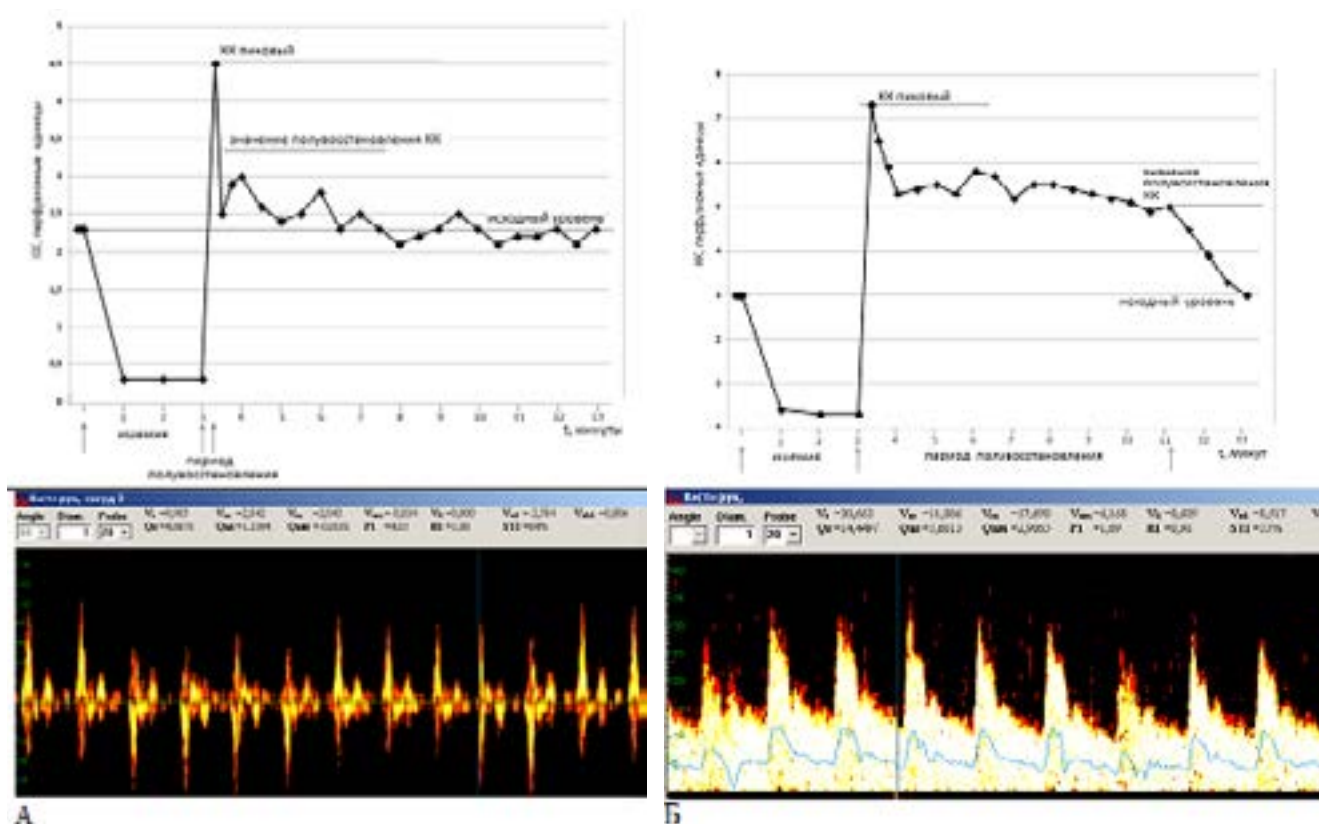


Рис. 2. Динамика показателя ЛДФ после 3-минутной ишемической пробы и доплерограмма пальцевой артерии до (А) и после (Б) введения внутривенно-капельно, в 200 мл. физиологического раствора Sol. Euphyllini 2,4 %-10,0 у пациента с клиническими признаками ишемии тканей

восстановления КК был короче, чем у пациентов с поперечной тракцией тканей, превышая значения на интактной конечности в 2,0–2,5 раза.

По данным транскутанной полярографии, увеличение капиллярного кровотока и его резервных возможностей сопровождается преобладанием аэробного уровня метаболизма поврежденных тканей [3]: гипероксия, увеличение периода полувыведения pO_2 в 2 раза, уменьшение периода полувосстановления pO_2 в 2 раза, отсутствовал период полного истощения кислорода, и, в результате, уменьшение балансового дефицита кислорода в 3–10 раз (табл. 2, рис. 3, А).

Только у пациентов с продольной тракцией через 7–10 дней возникает необходимость корректировать темп distraction, когда отмечается нарастание болевого синдрома и изменение окраски кожных покровов (30 % наблюдений).

По данным доплерографии, у этих пациентов регистрируем снижение показателя Vs на 40–60 % от значений контралатеральной фаланги пальцев и признаки вазоконстрикции (показатель конечной диастолической скорости V_{Akd} приобретает отрицательные значения, отношение V_m/V_s менее 0,4). Значения капиллярного кровотока в покое и после 3-минутной окклюзионной пробы снижены в

Таблица 2

Показатель	Интактная конечность (n=20)	Больная конечность		
		Поперечная тракция (n=10)	Продольная тракция (n=10)	
			Без ишемии (n=7)	С ишемией (n=3)
pO_2 , мм рт. ст.	54,3±1,82	83±2,15*	63±2,44*	18±1,29*
pCO_2 , мм рт. ст.	50,4±1,87	52±1,69	43±1,14*	48±1,05
$T_{1/2 \text{ вывод. } pO_2}$, с	82,6±4,62	120±5,66*	160±5,12*	20±2,75*
$T_{1/2 \text{ восст. } pO_2}$, с	81,9±4,11	40±3,11*	40±4,86*	230±6,77*
$t \text{ } pCO_2$, с	63,0±2,85	30±2,11*	30±5,45*	30±5,99*
ΔpCO_2 , %	16,3±3,59	11±2,47	16±3,52	45±3,15*
БДК, усл. ед.	1200±115,9	350±32,16*	120±41,52*	2000±154,2*

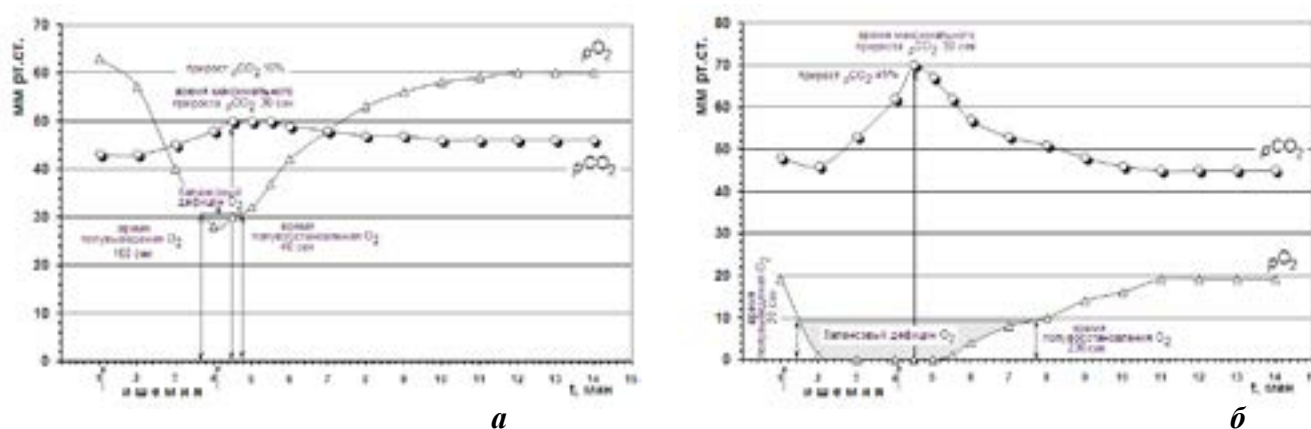


Рис. 3. Динамика парциального давления газов кожи кисти после ишемической пробы. *а* — при продольной тракции без клинических признаков ишемии тканей; *б* — при продольной тракции с клиническими признаками ишемии тканей

1,5–2,0 раза, по данным ИПК, сохранены резервные возможности капиллярного русла. Значительно снижен период полувосстановления КК — до 25–40 с и длительность реактивной гиперемии до 2–3 мин (рис. 2, А). При клинических признаках ишемии тканей — преобладание анаэробного уровня метаболизма: выражена гипоксия, уменьшение периода полувыведения pO_2 в 4 раза, увеличение периода полувосстановления pO_2 в 3 раза, длительный период (до 4 минут) полного истощения кислорода, когда $pO_2=0$ при нарастающей гиперкапнии тканей (прирост pCO_2 до 50 %), увеличение балансового дефицита кислорода в 1,5 раза (рис. 3, Б).

Сосудистая терапия, направленная на уменьшение вазоконстрикции сосудов, сопровождалась увеличением линейной скорости кровотока пальцевых артерий, увеличением КК в покое и после пробы, ИПК, периода полувосстановления КК до 8 минут, длительности реактивной гиперемии — до 11 минут (рис. 2, Б).

Увеличение кровоснабжения тканей культи пальцев кисти при дистракционном удлинении коротких трубчатых костей — это проявление компенсаторной реакции тканей на их метаболический запрос и кислородные потребности. Ишемическая проба позволила выявить различия в реактивности

сосудов прекапиллярного звена при поперечной и продольной тракции тканей. При продольной тракции период полувосстановления КК в 2 раза короче, чем при поперечной тракции тканей. В отличие от поперечной тракции, когда тракционные усилия прилагаются только к мягкотканому компоненту, при продольной тракции всегда формируется костный дистракционный регенерат. Остеогенез при дистракции стимулирует ангиогенез в прилежащих мышцах [16], развитие сосудов в процессе дозированного удлинения идет путем последовательного внутримышечного ангиогенеза вслед за внутрикостным ангиогенезом [19]. Но при формировании дистракционных регенератов выражены потери кальция в организме за счет активации репаративного процесса поврежденных костей [9], который играет важную роль в проявления констрикторных и дилаторных реакций артерий и вен мышц [8].

Выводы

Выявлены различия в реактивности сосудов прекапиллярного звена при поперечной и продольной тракции тканей кисти.

На фоне вазодилатации сосудов, при продольной тракции в отсутствие клинических признаков ишемии тканей преобладает гиперемический тип

микроциркуляции: увеличен в 2–3 раза капиллярный кровоток в покое и после 3-минутной ишемической пробы, в 1,5 раза ИПК. При поперечной тракции преобладает нормореактивный тип микроциркуляции: капиллярный кровоток в покое и резервные возможности капиллярного русла достоверно не отличались от значений интактной конечности.

Период полувосстановления КК при продольной тракции тканей увеличен 2 раза, при поперечной

тракции — в 4 раза относительно значений интактной конечности.

По данным ЛДФ, при тракционном воздействии мини-фиксаторами на фоне клинических признаков ишемии тканей регистрируются сохраненные резервные возможности капиллярного русла, но значительно снижен период полувосстановления КК — до 25–40 с и длительность реактивной гиперемии до 2–3 мин.

Литература

1. Гайдышев И. П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C/C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 512 с.
2. Долганова Т. И., Мартель И. И., Долганов Д. В. Оценка микроциркуляции у больных с открытыми переломами костей голени в процессе лечения аппаратом Илизарова // *Гений ортопедии*. 1999. № 4. С. 53–56.
3. Долганова Т. И. Диагностическая значимость ишемической пробы в оценке газового состава тканей при их травматическом или врожденном поражении // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2005. № 4. С. 32–37.
4. Долганова Т. И., Шабалин Д. А., Шихалева Н. Г. Ультразвуковая доплерография пальцевых артерий при удлинении культей фаланг пальцев мини-фиксаторами // *Травматол. и ортопедия России*. 2011. № 2 (60). С. 107–114.
5. Значение лазерной доплерометрии в диагностике профессиональной ангиопатии верхних конечностей / П. Н. Любченко, В. И. Шумский, Р. В. Горенков [и др.] // *Вестник РАМН*. 2005. № 6. С. 7–12.
6. Илизаров Г. А. Открытие, позволяющее управлять ростом и регенерацией тканей // *Вопр. изобретательства*. 1989. № 4. С. 11–12.
7. Крупаткин А. И. Оценка объемных параметров общего, нутритивного и шунтового кровотока микрососудистого русла кожи с помощью лазерной доплеровской флоуметрии // *Физиол. человека*. 2005. Т. 31. № 1. С. 114–119.
8. Кудряшов Ю. А., Табаров М. С. Кальций-зависимые механизмы констрикторных и дилаторных адренергических реакций артерий и вен икроножной мышцы в условиях гипоксии и гипотермии организма // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2003. Т. 2. № 2. С. 54–59.
9. Лунева С. Н., Ткачук Е. А., Стогов М. В. Биохимические показатели в оценке репаративного остеогенеза у пациентов с различными типами скелетной травмы // *Гений ортопедии*. 2010. № 1. С. 112–115.
10. Матчанов А. Г., Левтов В. А., Орлов В. В. Об изменениях кровотока при продольных растяжениях икроножных мышц кошки // *Физиолог. журн. СССР*. 1983. Т. 69. № 1. С. 74–83.
11. Роль чрескостного остеосинтеза по Г. А. Илизарову в хирургии кисти / Н. Г. Шихалева, Н. А. Щудло, М. Ю. Данилкин [и др.] // *Гений ортопедии*. 2011. № 2. С. 38–43.
12. Сагач В. Ф., Ткаченко М. М., Шаповал М. В. Залежність довжина – сила судинних гладеньких м'язів та система оксиду азоту за умов хронічного дефіциту мезостріатного дофаміну // *Физиолог. журн.* 1999. Т. 45. № 6. С. 3–11.
13. Состояние микроциркуляции у больных со скелетной травмой в динамике лечения / Л. А. Шпагина, А. Г. Карпенко, Н. Г. Колосов [и др.] // *Вестник новых мед. технол.* 2008. Т. 15. № 1. С. 107–110.
14. Щуров В. А., Сазонова Н. В. Диагностическое значение ускорения микроциркуляции в кожных покровах при лечении заболеваний и переломов костей конечностей // *Международ. журн. приклад. и фундамент. исследований*. 2014. № 10–11. С. 37–42.
15. Coats P., Hiller C. Determination of an optimal axial-length tension for the study of isolated resistance arteries on a pressure myograph // *Exp. Physiol.* 1999. Vol. 84. № 6. P. 1085–1094.
16. Distraction osteogenesis promotes angiogenesis in the surrounding muscles / S. Ohashi, I. Ohnishi, T. Kageyama [et al.] // *Clin. rthop. Relat Res.* 2007. № 1. P. 223–229.
17. Hypoxia as stimulus for vascular endothelial growth factor expression and capillary growth in rat and rabbit skeletal muscle during chronic electrical stimulation: Abstr. Sci. Meet. Physiol. Soc., Birmintham, 20–22 Dec. 1999 / M. Milkiewicz, O. Hudlicka M. D. Brown // *J. Physiol. Proc.* 2000. № 523. P. 147–148.
18. Poole D. C., Musch T. I., Kindig C. A. In vivo microvascular structural and functional consequences of muscle length changes // *Am. J. Physiol.: Heart and Circ. Physiol.* 1997. Vol. 41. № 5. P. 2107–2114.
19. Vascular development during distraction osteogenesis proceeds by sequential intramuscular arteriogenesis followed by intraosteal angiogenesis / E. F. Morgan, A. I. Hussein, B. A. Al-Awadhi [et al.] // *J. Bone*. 2012. № 3. P. 535–545.

Functional reserves of microcirculation in the longitudinal and transverse traction tissue mini clamps in vivo

Russian Ilizarov Scientific Center "Restorative Traumatology and Orthopaedics"

640014, M. Ul'ianova Street, 6. Kurgan, Russia

e-mail: office@rncvto.ru

Abstract

Purpose. Comparative evaluation of the functional reserves of microcirculation in *in vivo* produced additional integumentary tissues of the hand during longitudinal and transverse traction impact.

Materials and methods. 20 patients with posttraumatic pathology of the hand were examined at the stages of treatment using the following techniques: ultrasound dopplerography (USDG) (Minimax-Doppler K, 20-MHz sensor, St. Petersburg), laser flowmetry (BLF21 Transonic Systems Inc., USA), transcutaneous polarography [Model 840 (VFD, USA) with Clark type electrode]. Local ischemic test with occlusion cuff placing on the forearm was used to study the mechanisms involved in tissue blood flow regulation.

Main results. The dynamics of linear systolic velocity of finger artery blood flow is unidirectional in both groups of patients: 1.5–3.0-fold increase ($p \leq 0.05$) relative to the values of the intact limb with an increase in the proportion of shunt blood flow in USDG spectrogram. The differences in the reactivity of precapillary unit vessels were revealed for transverse (when transverse forces are applied to soft-tissue component only) and longitudinal (when a distraction regenerated bone is formed) tissue traction. Hyperemic microcirculation type prevails in case of longitudinal tissue traction through vascular vasodilation, and normoreactive type prevails in case of transverse traction. The half recovery period of capillary blood flow (CBF) for longitudinal tissue traction was 2-fold increased, while for transverse traction it was 4-fold increased relative to the values of the intact limb.

Conclusions. The differences in the reactivity of precapillary unit vessels have been revealed for transverse and longitudinal traction of the hand tissues. According to the LDF at the impact of mini-clamps traction on the background of clinical signs of tissue ischemia recorded of saving a reserve the possible of capillary bed, but significantly recovery of CBF- 25 to 40 seconds, and the duration of the reactive hyperemia to 2–3 minutes.

Keywords: microcirculation, laser flowmetry, partial pressure of gases, longitudinal and transverse traction of the hand tissues.

References

1. Gaydyshev I.P. Reshenie nauchnyh i inzhenernyh zadach sredstvami Excel, VBA u C/C++ [Solution of scientific and engineering tasks by Excel, VBA u C/C++] // Saint-Petersburg. BHB-Petersburg. 2004. 512 p. [In Russian].
2. Dolganova T.I., Martel I.I., Dolganov D.V. Ocenka mikrocirkuljacii u bol'nyh s otkrytymi perelomami kostej goleni v processe lechenija apparatom Ilizarova [Microcirculation assessment at patients with open shin bones' fractures in the course of treatment by Ilizarov's device] // Genij ortopedii [Genius of orthopedics]. 1999. N4. P.53–56. [In Russian].
3. Dolganova T.I. Diagnosticheskaja znachimost' ishemicheskoj proby v ocenke gazovogo sostava tkanej pri ih travmaticheskom ili vrozhdennom porazhenii [Diagnostic importance of ischemic test in an assessment of gas composition of tissues at their traumatic or congenital injury] // Regionarnoe krovoobrashhenie i mikrocirkuljacija [Regional hemodynamics and microcirculation]. 2005. N4. P.32–37. [In Russian].
4. Dolganova T.I., Shabalin D.A., Shikhaleva N.G. Ul'trazvukovaja doplerografija pal'cevyh arterij pri udlinenii kul'tej falang pal'cev mini-fiksatorami [Ultrasonic dopplerography of fingers' arteries when lengthening stumps of fingers' phalanges by mini-clamps] // Travmatologija i ortopedija Rossii [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2011. N2(60). P.107–114. [In Russian].
5. Lyubchenko P.N., Shumsky V.I., Gorenkov R.V. Znachenie lazernoj dopplerometrii v diagnostike professional'noj angiopatii verhnih konechnostej [Value of laser dopplerometria in diagnostics of a professional angiopathy of the upper extremities] // Vestnik RAMN [Vestnik of Russian Academy of Medical Science]. 2005. N6. P. 7–12. [In Russian].
6. Ilizarov G.A. Otkrytie, pozvoljajushhee upravljat' rostom i regeneraciej tkanej [The discovery allowing to operate growth and regeneration of tissues] // Voprosy izobretatel'stva [Questions of invention]. 1989. N 4. P. 11–12. [In Russian].
7. Krupatkin A.I. Ocenka ob'emnyh parametrov obshhego, nutritivnogo i shuntovogo krovotoka mikrososudistogo rusla kozhi s pomoshh'ju lazernoj dopplerovskoj floumetrii [Assessment of volume parameters of the general, nutritive and shunt blood-flow of skin microcirculation by laser Doppler floumetria] // Fiziologija cheloveka [Human physiology]. 2005. V.31. N1. P.114–119. [In Russian].
8. Kudrjashov Ju.A., Tabarov M.S. Kal'cij-zavisimye mehanizmy konstriktornyh i dilatatornyh adrenergicheskikh reakcij arterij i ven ikronozhnoj myshcy v uslovijah gipoksii i gipotermii organizma [Calcium-dependent mechanisms of the constrictive and the dilative adrenergic reactions of arteries and veins of gastrocnemius muscle in the conditions of organism's hypoxia and hypothermia] // Regionarnoe krovoobrashhenie i mikrocirkuljacija [Regional hemodynamics and microcirculation]. 2003. V.2. N2. P. 54–59. [In Russian].
9. Luneva S.N., Tkachuk E.A., Stogov M.V. Biohimicheskie pokazateli v ocenke reparativnogo osteogeneza u pacientov s razlichnymi tipami skeletnoj travmy [Biochemical indicators in assessment of reparative osteogenesis at patients with various types of a skeletal trauma] // Genij ortopedii [Genius of orthopedics]. 2010. N1. P.112–115. [In Russian].
10. Matchanov A.G., Levto V.A., Orlov V.V. Ob izmenenijah krovotoka pri prodol'nyh rastjazhenijah ikronozhnyh myshc koski [About changes of blood-flow at longitudinal stretchings of cat's gastrocnemius muscles]

// *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I.M. Sechenova* [Physiological journal of USSR (formely I.M. Sechenov)]. 1983. V.69. N1. P.74-83. [In Russian].

11. Shihaleva N.G., Shhudlo N.A., Danilkin M.Ju. Rol' chreskostnogo osteosinteza po G.A.Iizarovu v hirurgii kisti [The role of trans osseous osteosynthesis according to G. A. Ilizarov in hand surgery] // *Genij ortopedii* [Genius of orthopedics]. 2011. N2. P.38–43. [In Russian].

12. Sagach V.F., Tkachenko M.M., Shapoval M.V. Zavisimost' dlina– sila gladkih myshc sosudov i sistema oksida azota v uslovijah hronicheskogo deficita dofamina mezostriatuma [Dependence length – force of vessel smooth muscles and system of nitrogen oxide at chronic deficiency of mezostratial dopamine] // *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I.M. Sechenova* [Physiological journal of USSR (formely I.M. Sechenov)]. 1999. 45. N.6.P.3–11. [In Russian].

13. Shpagina L.A., Karpenko A.G., Kolosov N.G. Sostojanie mikrocirkuljacii u bol'nyh so skeletnoj travmoj v dinamike lechenija [Microcirculation state at patients with a skeletal trauma in dynamics of treatment] // *Vestnik novyh medicinskih tehnologij* [Bulletin of new medical technologies]. 2008. – V.15. N1. P.107-110. [In Russian].

14. Shchurov V.A., Sazonova N.V. Diagnosticheskoe znachenie uskorenija mikrocirkuljacii v kozhnyh pokrovah pri lechenii zabolevanij i perelomov kostej konechnostej

[Diagnostic value of microcirculation acceleration in skin at diseases treatment and fractures of extremities' bones] // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij* [International journal of applied and basic researches]. 2014. N10-1. P.37–42. [In Russian].

15. Coats P., Hiller C. Determination of an optimal axial-length tension for the study of isolated resistance arteries on a pressure myograph // *Exp Physiol*. 1999. V.84. N6. P.1085–1094.

16. Ohashi S., Ohnishi I., Kageyama T. Distraction osteogenesis promotes angiogenesis in the surrounding muscles // *Clin orthop relat res*. 2007. N1. P. 223–229.

17. Milkiewicz M., Hudlicka O., Brown M.D. Hypoxia as stimulus for vascular endothelial growth factor expression and capillary growth in rat and rabbit skeletal muscle during chronic electrical stimulation // *J Physiol Proc*. 2000. V.523. P.147–148.

18. Poole D.C., Musch T.I., Kindig C.A. In vivo microvascular structural and functional consequences of muscle length changes // *Am J Physiol: Heart and Circ. Physiol*. 1997. V.41. N5. P.2107–2114.

19. Morgan E.F., Hussein A.I., Al-Awadhi B.A. Vascular development during distraction osteogenesis proceeds by sequential intramuscular arteriogenesis followed by intraosteal angiogenesis // *Bone*. 2012. N 3. P. 535–545.