Метаболизм тканей кисти и функциональные резервы микроциркуляции у пациентов с последствиями экстремального воздействия холодового фактора при лечении по Илизарову

Т.И. Долганова, Д.А. Шабалин, Л.А. Гребенюк, Д.В. Долганов

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

Metabolism in the hand tissues and functional microcirculation recourses in patients with sequelae of cold injury treated with the Ilizarov method

T.I. Dolganova, D.A. Shabalin, L.A. Grebeniuk, D.V. Dolganov

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

Цель. Исследование в условиях лечения по методу Илизарова у пациентов с отдаленными последствиями тяжелой холодовой травмы особенностей метаболизма и параметров микроциркуляции кисти при проведении функциональных проб. **Материалы и методы.** У 19 пациентов в возрасте от 24 до 46 лет ($32,8 \pm 2,9$ года) с отдаленными последствиями тяжелой холодовой травмы исследованы особенности метаболизма и параметров микроциркуляции кисти в процессе лечения по методу Илизарова. Контрольную группу практически здоровых сверстников составили 14 человек. В зависимости от длины культей пальцев, наличия контрактур смежных суставов и возникающей после удлинения базальной синдактилии применены следующие методики: удлинение культей пальцев (культи менее 30 мм – 4 наблюдения, культи более 30 мм – 10 наблюдений); удлинение культей пальцев с последующей пластикой межпальцевых промежутков у 3 больных; удлинение культей пальцев с устранением приводящей контрактуры у 2 больных. Оценка микроциркуляции тканей проводилась с использованием лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) на установке BLF21 фирмы Transonic Systems Inc. (США). Использовали местную ишемическую пробу, регистрировали кровоток в покое и после 3-х минутной ишемии, производился расчет индекса пикового кровотока (ИПК, % = $\text{ККпик} / \text{ККпок} \times 100$ %), Δt , сек – интервал времени от снятия окклюзии до появления максимального прироста капиллярного кровотока. Исследование периферической гемодинамики пальцевых артерий пальцев и культей проводили методом ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) на ультразвуковом диагностическом приборе «Минимакс-доплер К» (г. С.-Петербург). **Результаты.** Установлено, что по данным УЗДГ выявляются критерии вазоконстрикции пальцевых артерий. Период полувосстановления КК и длительность реактивной гиперемии резко уменьшены. По данным транскutánной полярографии отмечалось преобладание анаэробного уровня метаболизма: относительно нормы уменьшение периода полувыведения pO_2 в 2 раза, увеличение периода полувосстановления pO_2 в 2 раза, регистрируется период (до 2 минут) полного истощения кислорода. **Заключение.** Были сделаны выводы, что методикой выбора в обследовании пациентов с последствиями тяжелых холодовых повреждений сегментов конечностей является оценка капиллярного кровотока по данным лазерной флоуметрии при проведении 3-х минутной ишемической пробы. Она позволила выявить доклиническую степень ишемии: нарушения в реактивности сосудов прекапиллярного звена. Основным в тактике ведения таких пациентов в условиях чрескостного дистракционного остеосинтеза по Илизарову является индивидуальный подбор темпа дистракционных усилий под контролем объективных и субъективных показателей состояния тканей и микрогемодинамики. Медикаментозное лечение, направленное на уменьшение вазоконстрикции сосудов, у пациентов с последствиями холодовой травмы в процессе тракционного воздействия аппаратом Илизарова дает невыраженный эффект, т.к. резервные возможности микроциркуляторного русла уже максимально реализованы методом чрескостного остеосинтеза. Считаем целесообразным проведение превентивной ангиогенной и нейротрофической терапии, которую следует проводить уже в преддистракционном периоде.

Ключевые слова: метод Илизарова, кисть, холодовая травма, микроциркуляция, ишемия, ангиогенная и нейротрофическая терапия, транскutánная полярография

Objective To explore metabolism and microcirculation of the hand in patients with remote effects of severe cold injury treated with the Ilizarov method using functional tests. **Material and methods** Metabolism and microcirculation of the hand were studied in 19 patients with remote effects of severe cold injury treated with the Ilizarov method. The patients' age ranged from 24 to 46 years (32.8 ± 2.9 years). Control group consisted of 14 normal peers. Depending on finger stump length, presence of contractures in adjacent joints and postlengthening basal syndactyly techniques employed for treatment included finger stump lengthening (4 observations of less than 30 mm stumps and 10 observations of more than 30 mm stumps); finger stump lengthening followed by plasty of web space in 3 patients; finger stump lengthening and repair of adduction contracture in 2 cases. Laser Doppler Flowmetry (LDF) BLF21 (Transonic Systems Inc., U.S.A.) was used to assess microcirculatory function. Local vascular occlusion test was applied, blood flow recorded at rest and after 3 minute ischemia, and Peak Capillary Blood Flow Index calculated ($\text{PBFi, \%} = \text{CBFpeak} / \text{CBFrest} \times 100$ %), Δt , sec – period from occlusion relief to maximal runoff of capillary blood flow. A Doppler ultrasound (DUS) using diagnostic Minimaxdoppler K device (St.Petersburg) was used to assess peripheral hemodynamics of finger and stump arteries. **Results** DUS showed signs of vasoconstriction of digital arteries. Period of CBF semi-recovery and length of reactive hyperemia were sharply decreased. Transcutaneous polarography showed prevailing anaerobic metabolism with two-fold decrease in pO_2 half-life and two-fold increase in pO_2 semi-recovery, and oxygen exhaust was recorded within 2 minutes. **Conclusion** It was concluded that evaluation of capillary blood flow using laser Doppler flowmetry with a 3-minute vascular occlusion test was the method of choice for examination of patients with sequelae of severe cold injury of limb segments. The method allowed for assessing preclinical extent of ischemia, disorders in vascular reactivity of pre-capillary portion. A tailored approach to distraction rate under control of objective and subjective findings and microhemodynamics is essential for patients treated with transosseous distraction osteosynthesis using Ilizarov external fixator. Medications targeting the relief of vasoconstriction prescribed for patients with sequelae of cold injury treated with Ilizarov traction demonstrated hardly noticeable effect due microcirculation recourses had been largely consumed by the method of transosseous osteosynthesis. We suggest that preventive angiogenic and neurotrophic therapies can be efficient at pre-distraction stage.

Keywords: Ilizarov method, hand, cold injury, microcirculation, ischemia, angiogenic and neurotrophic therapy, transcutaneous polarography

В последние годы разработаны новые схемы лечения, направленные на предотвращение некроза тканей при холодовых отморожениях, что позволило улучшить клинический результат. Внедрение в клиническую практику методик чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза и разработка мини-аппарата Г.А. Илизарова открыли новые возможности использования местных тканей при реконструктивной хирургии поврежденной кисти [4], в частности, при удлинении посттравматических культи пальцев. Но при оперативном лечении имеется риск развития сосудистых нарушений в трансформируемом сегменте, не выражено проявление компенсаторной реакции тканей на их метаболический запрос и кислородные потребности. Изучение биологического состояния мягких тканей кисти и адаптационных резервов системы микроциркуляции у пациентов с отдаленными последствиями тяжелой холодовой травмы имеет прогностическое значение, так как позволяет планировать тактику ведения пациентов.

Наиболее уязвимым звеном в патогенезе тяжелых отморожений конечностей является нарушение

микроциркуляции, развивающееся в дореактивном периоде, когда происходят необратимые изменения с прогрессирующим снижением кровотока до значений биологического нуля и развития некроза в 100 % случаев [6]. Постхолодовая нейропатия является доминирующим симптомом отдаленных последствий холодовой травмы. У таких пациентов наблюдалась постоянная холодовая непереносимость с аномальными порогами тепловой и вибрационной чувствительности в ближайшие и отдаленные сроки после холодовой травмы [12].

Одним из механизмов развития патологических процессов при отморожениях является дисфункция эндотелия сосудов, в частности, в результате накопления различных биологически активных веществ (цитокинов) в зоне поражения повреждаются эндотелиоциты [7].

Целью настоящей работы явилось исследование в условиях лечения по методу Илизарова у пациентов с отдаленными последствиями тяжелой холодовой травмы особенностей метаболизма и параметров микроциркуляции кисти при проведении функциональных проб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Было обследовано 19 пациентов в возрасте от 24 до 46 лет ($32,8 \pm 2,9$ года). Давность перенесенной холодовой травмы составляла от 2 до 3 лет. Контрольную группу практически здоровых сверстников составили 14 человек.

В зависимости от длины культи пальцев, наличия контрактур смежных суставов и возникающей после удлинения базальной синдактилии применены следующие методики:

1. Удлинение культи пальцев (культи менее 30 мм – 4 наблюдения, культи более 30 мм – 10 наблюдений);
2. Удлинение культи пальцев с последующей пластикой межпальцевых промежутков у 3 больных;
3. Удлинение культи пальцев с устранением приводящей контрактуры у 2 больных.

Для выявления скрытых нарушений микрогемодинамики и адаптационных резервов системы микроциркуляции информативны неинвазивные функциональные пробы [3].

В настоящем исследовании оценка микроциркуляции тканей проводилась с использованием лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) на установке BLF21 фирмы Transonic Systems Inc. (США) (рис. 1, а). 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-х минутной ишемии (ККпик, пф. ед.) производился расчет индекса пикового кровотока (ИПК, % = $\text{ККпик} / \text{ККпок} \times 100\%$) – прирост капиллярного кровотока после прекращения 3-х минутной окклюзии; Δt , сек – интервал времени от снятия окклюзии до появления максимального прироста капиллярного кровотока; периода полувосстановления капиллярного кровотока ($T_{1/2}$, сек) и длительности реактивной гиперемии (Т, сек) – интервал времени от появления максимального прироста капиллярного кровотока до его восстановления к исходным значениям.

Исследование периферической гемодинамики пальцевых артерий пальцев и культи проводили методом ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) на ультразвуковом диагностическом приборе «Минимакс-доплер К»

(г. С.-Петербург) при помощи датчика с рабочей частотой 20 МГц (рис. 1, б). Оценивались показатели стандартного автоматического заключения УЗДГ: Vs (см/сек) – максимальная линейная систолическая скорость по кривой средней скорости, Vm (см/сек) – средняя скорость по кривой средней скорости, Vad, см/сек – конечная диастолическая скорость по кривой средней скорости; рассчитывался пульсаторный индекс ($PI = (Vs - Vd) / Vm$).

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] (рис. 1, в). Напряжение кислорода и углекислого газа регистрировали в покое, во время трехминутной ишемической пробы (через каждую минуту) и в течение 10 минут постишемической реактивной гиперемии с интервалом в 30 сек. Регистрировали следующие показатели: исходные значения pO_2 и pCO_2 ; время полувыведения кислорода ($T_{1/2 \text{ вывед. } pO_2}$, сек); время полувосстановления напряжения кислорода ($T_{1/2 \text{ восст. } pO_2}$, сек); время регистрации максимального прироста углекислого газа ($t pCO_2$, сек.), 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 . Упрощенной формулой расчета можно считать определение площади треугольника, где основание (Т) – это время (сек.) от точки $T_{1/2 \text{ вывед. } pO_2}$ до точки $T_{1/2 \text{ восст. } pO_2}$, высота (Р) – разность значений pO_2 в точке $T_{1/2 \text{ вывед. } pO_2}$ и минимальных значений pO_2 в течение ишемической пробы. Соответственно формула расчета имеет следующий вид: $\text{БДК} = T \times P/2$.

Статистическая обработка результатов выполнена с использованием стандартных программ Microsoft Excel. Поскольку выборочная совокупность получаемых параметров подчинялась закону нормального распределения, оценивали среднее значение (М), ошибку средней (m) и критерий Стьюдента при определении статистической значимости различий анализируемых показателей.

Рис. 1. Фото выполнения процедур: а – проведение лазерной флоуметрии; б – проведение УЗДГ пальцевых артерий; в – регистрация параметров тканевого метаболизма с помощью транскутанной полярографии

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные исследования показали, что при последствиях низкотемпературного повреждения тканей кисти по данным УЗДГ выявляются критерии вазоконстрикции пальцевых артерий (табл. 1): средняя скорость кровотока (V_m , см/сек) составляет менее 50 % V_s , отрицательные значения диастолической скорости (V_{ad} , см/сек), увеличение PI , отражающего упруго-эластические свойства артерий.

Показатели KK покоя и KK пикового не имеют достоверных различий от значений нормы, т.е. сохранены резервные возможности сосудистого русла, но 3-х минутная ишемическая проба выявляет нарушения реактивности сосудов: резко уменьшен период полувосстановления KK и длительность реактивной гиперемии (табл. 1).

По данным транскутанной полярографии отмечалось преобладание анаэробного уровня метаболизма: относительно нормы уменьшение периода полувыведения pO_2 в 2 раза, увеличение периода полувосстановления pO_2 в 2 раза, регистрируется период (до 2 минут) полного истощения кислорода, когда $pO_2 = 0$ при нарастающей гиперкапнии тканей, увеличение балансового дефицита кислорода в 2,8 раза [1] (табл. 1).

Во время всего периода distraction необходимо особенно внимательно следить за трофикой кожных покровов в области торцов культи, так как в этих местах рубцово-измененная кожа испытывает максимальное напряжение и возможно развитие ее перфорации. У пациентов с последствиями тяжелой холодовой травмы в 30 % наблюдений (6 человек) через 7–10 дней в последующем, в процессе продольной тракции для увеличения длины культей фаланг пальцев, отмечались клинические признаки ишемии тканей: выраженный болевой синдром и изменение окраски кожных покровов, что потребовало коррекции тактики лечения. При клинических признаках ишемии тканей регистрировалось выраженное преобладание анаэробного уровня метаболизма:

- гипоксия pO_2 до 30 мм рт. ст.;
- уменьшение периода полувыведения pO_2 в 4 раза;
- увеличение периода полувосстановления pO_2 в 3 раза;
- длительный период (до 4 минут) полного истощения кислорода при нарастающей гиперкапнии тканей (прирост pO_2 до 50 %);
- увеличение балансового дефицита кислорода до 3800 усл.ед.

Таблица 1

Расчетные показатели периферической гемодинамики и транскутанной полярографии тканей кисти при низкотемпературной этиологии их повреждения ($M \pm m$, n – число наблюдений)

Показатели	Значения нормы (n = 14)	Больная конечность (n = 19)	Показатели	Интakтные конечности (n = 14)	Больная конечность (n = 19)	Показатели	Интakтные конечности (n = 14)	Больная конечность (n = 19)
Показатели лазерной флоуметрии пальцев			Показатели транскутанной полярографии			Показатели УЗДГ пальцевых артерий		
KK пок.	$5,54 \pm 0,74$	$5,05 \pm 0,85$	pO_2 , мм рт. ст.	$56,4 \pm 4,01$	$58,9 \pm 5,19$	V_s	$22,14 \pm 0,54$	$15,67 \pm 0,89^*$ снижено в 1,5 раза
KK пик.	$12,5 \pm 0,89$	$14,1 \pm 3,52$	pCO_2 , мм рт. ст.	$55,7 \pm 3,11$	$17,9 \pm 5,09$ снижено в 3 раза	V_m	$17,08 \pm 0,61$	$5,11 \pm 0,42$ снижено в 3,3 раза
ИПК	$278,0 \pm 17,89$	$270,0 \pm 39,5$	$T_{1/2}$ вывод pO_2 , сек.	$70,2 \pm 5,05$	$45,7 \pm 5,15^*$ снижено в 2 раза	V_{ad}	$2,17 \pm 0,29$	$-0,42 \pm 0,12^*$ значения < 1,0
Δt	$15,0 \pm 0,5$	$10,0 \pm 0,5^*$ уменьшено в 1,5 раза	$T_{1/2}$ восст. pO_2 , сек.	$35,2 \pm 3,91$	$50,0 \pm 5,46^*$ увеличено в 2 раза	PI	$0,98 \pm 0,27$	$2,18 \pm 0,19^*$ увеличено в 2 раза
$T_{1/2}$	$97,1 \pm 0,52$	$15,0 \pm 0,35^*$ уменьшено в 6 раз	$t pCO_2$, сек.	$55,0 \pm 5,55$	$20,4 \pm 6,18^*$ снижено в 2,5 раза			
T	$250,0 \pm 0,38$	$45,0 \pm 0,20^*$ уменьшено в 5 раз	ΔpCO_2 , %	$22,1 \pm 3,16$	$10,5 \pm 2,49^*$ снижено в 2 раза			
			БДК, усл. ед.	$1050,0 \pm 100,0$	$2997 \pm 200,0^*$ увеличено в 2,8 раза			

Примечание: * – статистическая значимость различия параметров относительно значений в группе контроля по критерию Стьюдента, $P \leq 0,05$; M – среднее значение, m – стандартная ошибка.

Клинический пример. Пациент П., 42 г., диагноз: последствия холодовой травмы обеих кистей. Посттравматические ампутационные культы 1, 2 и 5 пальцев кисти на уровне головок пястных костей, 3 и 4 пальцев – на уровне основания проксимальных фаланг (МКБ10 – S68.2).

Два года назад пациент получил обморожение обеих кистей 4 степени. В результате чего развился некроз пальцев обеих кистей. По месту жительства была произведена некрэктомия, пластика культей местными тканями, формирование культей обеих кистей. При поступлении в отделение патологии кисти РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова пациент предъявлял жалобы на отсутствие возможности самообслуживания в связи с резким ограничением функции обеих кистей. С целью удлинения 1 пястной кости и создания первого межпальцевого промежутка выполнена двойная остеотомия 1 пястной кости левой кисти, остеосинтез аппаратом Илизарова I пястной кости, наложены аппараты на II, III пястные кости левой кисти (для создания дополнительных тракционных усилий).

Начальный темп дистракции составил 0,5 мм/сут. за 4 приема. На 7 день дистракции пациент стал предъявлять жалобы на выраженный болевой синдром, на

перевязке отмечена бледность кожных покровов на торце 1 пястной кости, что расценено как проявление клинических признаков ишемии тканей в результате их продольной тракции.

Был снижен темп дистракции до 0,25 мм/сут. за 4 приема и назначено медикаментозное лечение, направленное на уменьшение вазоконстрикции (Sol. euphyllini 2,4 % 5,0 внутривенно № 5). После проведенного курса медикаментозной терапии по данным УЗДГ сохранялись критерии вазоконстрикции пальцевых артерий, при 3-х минутной ишемической пробе слабо выражено увеличение периода полувосстановления КК и длительности реактивной гиперемии, по данным транскutánной полярографии отсутствовал прирост pO_2 , но при 3-х минутной ишемической пробе отмечалось незначительное увеличение периода полувыведения pO_2 и уменьшение периода полувосстановления pO_2 за счет значительного укорочения периода полного исчерпания кислорода (рис. 2). По данным литературы, аналогичные ответы микрососудов скелетной мускулатуры на медикаментозные пробы, направленные на развитие вазодилатационного ответа, отмечают при возрастных изменениях сосудистого эндотелия в сочетании с нейропатиями [10].

До введения Sol. Euphyllini 2,4 % 5,0 в/в № 5

После введения Sol. Euphyllini 2,4 % 5,0 в/в № 5

Рис. 2. Параметры капиллярного кровотока (а, б), парциального напряжения газов кожи на участке её тракции (в, г) при ишемической пробе и данные УЗДГ (д, е) пальцевых артерий

У пациента сохранялись жалобы на болевой синдром и бледность кожных покровов торца 1 пьстной кости. Для уменьшения натяжения мягких тканей дистракция была приостановлена (на 3–5 дней), что способствовало развитию процессов релаксации в тканях и адаптации к новой достигнутой длине кости.

После восстановления нормальной окраски кожных покровов торца культи дистракцию возобновили. Но по

данным УЗДГ сохранялись признаки вазоконстрикции, положительная динамика отмечена только по данным лазерной флоуметрии: при 3-х минутной ишемической пробе – увеличение периода полувосстановления КК. Общая длительность дистракции составила 48 дней, фиксации 89 дней. Создан запас кожи I межпальцевого промежутка. Кожная пластика межпальцевого промежутка по Лимбергу. Достигнутое удлинение 2,5 см (рис. 3).

Рис. 3. Пациент П., 42 лет: а – фото кисти в процессе лечения, б – рентгенограмма кисти в процессе лечения; в – функциональные возможности левой кисти после снятия аппаратов (сформирована функция плоскостного хвата)

ОБСУЖДЕНИЕ

В отдаленном периоде после холодовой травмы в группе пациентов с культи пальцев кисти обмен веществ в сохранившихся тканях остается относительно сниженным длительное время и значительно не увеличивается в процессе дистракции. Возбуждение холодовых рецепторов кожи приводит к стимуляции эрготропной активности симпатической нервной системы [2], и вазоконстрикция сосудов сохраняется длительный период после холодового повреждения тканей.

В оценке капиллярного кровотока и газового режима тканей ишемическая проба выявляет **доклиническую степень ишемии** при низкотемпературной этиологии повреждения тканей. Взаимосвязь метаболизма и параметров микроциркуляции регистрируется и при дисфункции эндотелия сосудов после тяжелой холодовой травмы, когда значения капиллярного кровотока покоя и пикового не отличаются от значений нормы, но резко уменьшен период полувосстановления КК, полувыведения pO_2 , длительность реактивной гиперемии, увеличение периода полувосстановления pO_2 , регистрируется полное истощение кислорода при нарастающей гиперкапнии тканей с увеличением балансового дефицита кислорода, что согласуется с данными литературы [5, 13]. Степень выраженности отклонений расчетных показателей после ишемической пробы от значений нормы позволяет судить о тяжести процесса.

По данным литературы, дистракционные воздействия на ткани у экспериментальных животных сопровождаются значительным увеличением экспрессии факторов роста, участвующих в ангиогенезе мышц [11]. Холодовая травма дистальных сегментов конечностей (кисти) вызывает микроангиопатии в отдаленном периоде после воздействия, характеризующиеся спазмами прекапиллярных сосудов, разрушением капилляров на больших участках кожи и развитием повышенной проницаемости микрососудов [9]. Такие изменения ангиогенеза могут являться патоморфологической основой наблюдаемых клинических признаков ишемии тканей и болевого синдрома в процессе дистракции.

Основным в тактике ведения таких пациентов в условиях чрескостного дистракционного остеосинтеза по Илизарову является индивидуальный подбор темпа дистракционных усилий под контролем объективных и субъективных показателей состояния тканей и микрогемодинамики. Клинические наблюдения показали, что медикаментозное лечение, направленное на уменьшение вазоконстрикции сосудов, у пациентов с последствиями холодовой травмы в процессе тракционного воздействия аппаратом Илизарова дает невыраженный эффект, т.к. резервные возможности микроциркуляторного русла уже максимально реализованы в условиях чрескостного остеосинтеза («эффект Или-

зарова»). Считаем целесообразным проведение превентивной ангиогенной и нейротрофической терапии, которую следует проводить уже в преддистракционном периоде, а результаты функциональных методов оценки капиллярного кровотока учитывать в выборе индивидуальной тактики ведения пациентов.

Показатели капиллярного кровотока являются наиболее лабильными, они совпадают с клинической картиной при изменении окраски кожных покровов. Основным диагностическим критерием является динамика расчетных параметров капиллярного кровотока после 3-х минутной ишемической пробы.

ВЫВОДЫ

1. Методикой выбора в обследовании пациентов с последствиями тяжелых холодовых повреждений сегментов конечностей является оценка капиллярного кровотока по данным лазерной флоуметрии при проведении 3-х минутной ишемической пробы.

2. В отдаленном периоде при низкотемпературной этиологии повреждения тканей ишемическая проба позволила выявить **доклиническую степень ишемии**: нарушения в реактивности сосудов прекапиллярного звена.

3. Основным в тактике ведения таких пациентов является индивидуальный подбор темпа дистракционных усилий и своевременная коррекция лечебных мероприятий с учетом результатов мониторингирования микроциркуляции и оценкой её резервных возможностей. Целесообразно проведение превентивного ангиогенного и нейротрофического медикаментозного лечения в преддистракционном периоде пациентов с вышеописанной патологией в условиях чрескостного остеосинтеза по Илизарову.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долганова Т.И. Диагностическая значимость ишемической пробы в оценке газового состава тканей при их травматическом или врожденном повреждении. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2005. Т. 4, № 4. С. 32-37.
2. Коробицына Е.В., Мелькова Л.А., Гудков А.В. Влияние локального охлаждения кожи кисти и стопы на показатели периферической гемодинамики у юношей и девушек Европейского Севера России // Вестник Северного (Арктического) Федерального Университета. Серия: Медико-биологические науки. 2016. № 4. С. 22-29.
3. Методы диагностики эндотелиальной дисфункции / А.Н. Иванов, А.А. Гречихин, И.А. Норкин, Д.М. Пучиньян // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2014. Т. 13, №4(52). С. 4-11.
4. Способы формирования первого пальца и луча кисти методом управляемого чрескостного остеосинтеза, разработанного в РНЦ «ВТО» / В.И. Шевцов, Д.А. Шабалин, Л.А. Попова, М.Ю. Данилкин // Гений ортопедии. 2009. № 2. С. 17-21.
5. Федорович А.А. Неинвазивная оценка вазомоторной и метаболической функции микрососудистого эндотелия в коже человека // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2013. Т.12, №2 (46). С. 15-25.
6. Шапкин Ю.Г., Капралов С.В., Стекольников Н.Ю. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке эффективности стандартной медикаментозной терапии глубоких отморожений конечностей // Бюллетень медицинских Интернет-конференций 2011. Том 1. № 2. С. 48-53.
7. Шаповалов К.Г. Роль дисфункции эндотелия в альтерации тканей при местной холодовой травме // Тромбоз, гемостаз и реология. 2016. №4(68). С. 26-30.
8. Эндотелиальная секреция вазоактивных молекул при холодовой травме конечностей / К.Г.Шаповалов, В. А. Сизоненко, Е. А.Томина, Ю. А. Витковский // Травматология и ортопедия России. 2008. № 2(48). С. 53-56.
9. Capillary damage following freezing of the extremities, evaluated by fluorescence videomicroscopy / H.U. Baer, C. Baer-Suryadinata, P. Segantini, A. Bollinger // Schweiz. Med. Wochenschr. 1985. Vol. 115, No 14. P. 479-483.
10. Bearden S.E. Effect of aging on the structure and function of skeletal muscle microvascular networks // Microcirculation. 2006. Vol. 13, No 4. P. 279-288. DOI: 10.1080/10739680600618892.
11. Bilaterally increased VEGF-levels in muscles during experimental unilateral callus distraction / N. Hansen-Algenstaedt, P. Algenstaedt, A. Böttcher, C. Joscheck, B. Schwarzloh, C. Schaefer, I. Müller, C. Koike, W. Rüther, B. Fink // J. Orthop. Res. 2003. Vol. 21, No 5. P. 805-812. DOI: 10.1016/S0736-0266(03)00060-3.
12. Neurosensory sequelae assessed by thermal and vibrotactile perception thresholds after local cold injury / D. Carlsson, L. Burström, V.H. Lilliesköld, T. Nilsson, E. Nordh, J. Wahlström // Int. J. Circumpolar. Health. 2014. Vol. 73. DOI: 10.3402/ijch.v73.23540.
13. Roustit M., Cracowski J.L. Assessment of endothelial and neurovascular function in human skin microcirculation // Trends Pharmacol. Sci. 2013. Vol. 34, No 7. P. 373-384. DOI: 10.1016/j.tips.2013.05.007.

REFERENCES

1. Dolganova T.I. Diagnosticheskaja znachimost' ishemicheskoi proby v otsenke gazovogo sostava tkanei pri ikh travmaticheskom ili vrozhdennom povrezhdenii [Diagnostic significance of the ischemic test in the evaluation of the gas composition of tissues in their traumatic and congenital involvement]. *Regionarnoe Kровоobrashchenie i Mikrotsirkulatsiya*, 2005, vol. 4, no. 4, pp. 32-37. (In Russ.)
2. Korobitsyna E.V., Mel'kova L.A., Gudkov A.B. Vliianie lokal'nogo okhlazhdeniia kozhi kisti i stopy na pokazateli perifericheskoi gemodinamiki u iunoshei i devushek Evropeiskogo Severa Rossii [The effect of the local cooling of the hand and foot skin on peripheral hemodynamics values in adolescents (boys and girls) of the European North of Russia]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) Federal'nogo Universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie Nauki*, 2016, no. 4, pp. 22-29. (In Russ.)
3. Ivanov A.N., Grechikhin A.A., Norkin I.A., Puchin'ian D.M. Metody diagnostiki endotelial'noi disfunktsii [Methods of diagnosing the endothelial function]. *Regionarnoe Kровоobrashchenie i Mikrotsirkulatsiya*, 2014, vol. 13, no. 4(52), pp. 4-11. (In Russ.)
4. Shevtsov V.I., Shabalin D.A., Popova L.A., Danilkin M.Iu. Sposoby formirovaniia pervogo pal'tsa i lucha kisti metodom upravliaemogo chreskostnogo osteosinteza, razrabotannogo v RNTs «VTO» [The ways of the hand first finger and ray formation using the technique of controlled transosseous osteosynthesis worked out at RISC "VTO"]. *Genij Ortopedii*, 2009, no. 2, pp. 17-21. (In Russ.)
5. Fedorovich A.A. Neinvazivnaia otsenka vazomotornoi i metabolicheskoi funktsii mikrososudistogo endotelii v kozhe cheloveka [Non-invasive evaluation of the vasomotor and metabolic function of the microvascular endothelium in human skin]. *Regionarnoe Kровоobrashchenie i Mikrotsirkulatsiya*, 2013, vol. 12, no. 2 (46), pp. 15-25. (In Russ.)
6. Shapkin Iu.G., Kapralov S.V., Stekol'nikov N.Iu. Lazernaia dopplerovskaja floumetriia v otsenke effektivnosti standartnoi medikamentoznoi terapii glubokikh otmorozhenii konechnostei [Laser Doppler flowmetry in the evaluation of the effectiveness of the standard medicament therapy of deep limb frostbites]. *Biulleten' Meditsinskikh Internet-konferentsii*, 2011, vol. 1, no. 2, pp. 48-53. (In Russ.)
7. Shapovalov K.G. Rol' disfunktsii endotelii v al'teratsii tkanei pri mestnoi kholodovoi travme [The role of endothelium dysfunction in tissue alteration for local cold trauma]. *Tromboz, Gemostaz i Reologiya*, 2016, no. 4(68), pp. 26-30. (In Russ.)
8. Shapovalov K.G., Sizonenko V.A., Tomina E.A., Vitkovskii Iu.A. Endotelial'naia sekretsiia vazoaktivnykh molekul pri kholodovoi travme konechnostei [Endothelial secretion of vasoactive molecules for cold limb trauma]. *Travmatologiya i Ortopediia Rossii*, 2008, no. 2(48), pp. 53-56. (In Russ.)

9. Baer H.U., Baer-Suryadinata C., Segantini P., Bollinger A. Capillary damage following freezing of the extremities, evaluated by fluorescence videomicroscopy. *Schweiz. Med. Wochenschr.*, 1985, vol. 115, no. 14, pp. 479-483.
10. Bearden S.E. Effect of aging on the structure and function of skeletal muscle microvascular networks. *Microcirculation*, 2006, vol. 13, no. 4, pp. 279-288. DOI: 10.1080/10739680600618892.
11. Hansen-Algenstaedt N., Algenstaedt P., Böttcher A., Joscheck C., Schwarzloh B., Schaefer C., Müller I., Koike C., Rüther W., Fink B. Bilaterally increased VEGF-levels in muscles during experimental unilateral callus distraction. *J. Orthop. Res.*, 2003, vol. 21, no. 5, pp. 805-812. DOI: 10.1016/S0736-0266(03)00060-3.
12. Carlsson D., Burström L., Lilliesköld V.H., Nilsson T., Nordh E., Wahlström J. Neurosensory sequelae assessed by thermal and vibrotactile perception thresholds after local cold injury. *Int. J. Circumpolar. Health*, 2014, vol. 73. DOI: 10.3402/ijch.v73.23540.
13. Roustit M., Cracowski J.L. Assessment of endothelial and neurovascular function in human skin microcirculation. *Trends Pharmacol. Sci.*, 2013, vol. 34, no. 7, pp. 373-384. DOI: 10.1016/j.tips.2013.05.007.

Рукопись поступила 02.05.2017

Сведения об авторах:

1. Долганова Тамара Игоревна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, лаборатория коррекции деформаций и удлинения конечностей, ведущий научный сотрудник, д. м. н.
2. Шабалин Денис Александрович – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, травматолого-ортопедическое отделение № 13, врач травматолог-ортопед
3. Гребенюк Людмила Александровна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, лаборатория гнойной остеологии и замещения дефектов конечностей, старший научный сотрудник, к. б. н.
4. Долганов Дмитрий Владимирович – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, лаборатория коррекции деформаций и удлинения конечностей, старший научный сотрудник, к. б. н.

Information about the authors:

1. Tamara I. Dolganova, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Laboratory of Deformity Correction and Limb Lengthening, leading researcher
2. Denis A. Shabalin, M.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Department of Traumatology and Orthopaedics No 13, traumatologist-orthopedist
3. Liudmila A. Grebeniuk, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Laboratory of Purulent Osteology and Limb Defect Filling, senior researcher
4. Dmitrii V. Dolganov, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Laboratory of Deformity Correction and Limb Lengthening, senior researcher