

Особенности кислородного режима в тканях при оперативном удлинении конечности

В.А. Щуров, Н.В. Сазонова, Е.В. Николайчук

Peculiarities of oxygen conditions in tissues during surgical limb lengthening

V.A. Shchurov, N.V. Sazonova, E.V. Nickolaichouk

Государственное учреждение науки

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова, г. Курган (генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

При удлинении голени по Илизарову у больных с врожденным отставанием в росте нижней конечности (25 чел.) методом полярографии с использованием открытых игольчатых электродов выявлено снижение pO_2 и существенный прирост показателя в этот период при дыхании чистым кислородом. При транскутанном определении напряжение кислорода ($PtcO_2$) и углекислого газа ($PtcCO_2$) и лазерной флоуметрии в кожных покровах стопы у 15 больных при удлинении конечности методом дистракционного остеосинтеза также выявлено увеличение капиллярного кровотока и $PtcCO_2$ и снижение $PtcO_2$. Применение 10 сеансов гипербарической оксигенации способствовало уменьшению отклонений показателей кислородного режима в тканях от исходного уровня.

Ключевые слова: гипербарическая оксигенация, напряжение кислорода, удлинение голени, капиллярный кровоток.

Decrease of pO_2 and significant increase of the index was revealed during breathing with pure oxygen in this period in patients with congenital lag of lower limb growth (25 subjects) by polarography using open needle electrodes during leg lengthening according to Ilizarov. Increase of capillary blood flow and $PtcCO_2$ and decrease of $PtcO_2$ were also revealed in the process of limb lengthening by the technique of distraction osteosynthesis using laser flowmetry and transcutaneous determination of oxygen ($PtcO_2$) and carbon dioxide ($PtcCO_2$) pressure in skin integuments of foot in 15 patients. Use of 10 sessions of hyperbaric oxygenation contributed to decrease of deviations of the oxygen condition indices in tissues from the initial level.

Keywords: hyperbaric oxygenation, oxygen pressure, leg lengthening, capillary blood flow.

Кислородный режим тканей является одним из главных факторов, определяющих функциональное состояние организма. Этот режим зависит в основном от соотношения скоростей доставки и утилизации кислорода. Когда доставка сбалансирована потреблением, величина напряжения кислорода (pO_2) постоянна [1]. Увеличить потребление кислорода тканями можно путем ускорения кровотока, либо увеличением содержания pO_2 в артериальной крови. Однако у здоровых людей существенно повысить pO_2 в артериальной крови трудно, поскольку в физиологических условиях насыщение гемоглобина кислородом составляет 97%. Увеличить кислородную ёмкость крови можно при проведении сеанса гипербарической оксигенации (ГБО), когда прирост давления кислорода на 1 атмосферу ведет к дополнительному растворению 2,3 мл кислорода [2]. Однако и в этом случае включается физиологическая система антиоксидантной защиты тканей, приводящая к уменьшению локального кровотока [3, 4]. К тому же максимальное потребление кислорода тканями зависит не столько от pO_2 артериальной крови,

сколько от уровня его диффузии [5].

Важнейшей проблемой при оперативном увеличении продольных размеров отстающих в росте конечностей с помощью чрескостного дистракционного аппарата, когда темп дистракции более чем на порядок выше темпов их естественного роста, является последующее сохранение функциональных способностей мышц. Одной из причин повреждения сократительных элементов является дефицит кислорода вследствие травмы, отека и увеличения внутримышечного давления до критического уровня перекрытия артериального русла [6]. И хотя за 4 десятилетия разработаны методики остеосинтеза с максимально щадящим отношением к тканям, травматические воспалительные изменения в них могут привести к тому, что значительная часть высокоспециализированных мышечных волокон замещается менее требовательной к дефициту кислорода соединительной тканью [7].

Целью настоящего исследования является выявление некоторых особенностей кислородного режима в тканях при оперативном удлинении отстающей в росте голени.

МЕТОДИКА

Объектом обследования были 20 практически здоровых людей (контрольная группа) и две группы больных с врожденным отставанием в росте нижней конечности на 5-9 см, поступивших для увеличения роста. Первая группа (25 больных) обследована до лечения, в процессе удлинения голени по Илизарову, в ближайшие и отдаленные сроки после лечения. У всех больных определялось pO_2 в тканях тыльной поверхности стопы с использованием полярографического анализатора ПА-2 (Чехия). В качестве рабочего применялся открытый платиновый игольчатый электрод длиной 10 и диаметром 0,2 мм. Потенциал поляризации 0,5 в. Электрод вводили в кожу тыла стопы с использованием проб с ингаляцией чистого кислорода и 3-х минутной ишемией, создаваемой окклюзией приносящих артерий давлением 250 мм рт. ст. Для определения локального кровотока на рабочий электрод подавался положительный потенциал, и производилась регистрация клиренса водорода в тканях, после вдыхания этого газа. Для оценки кислородного режима мы использовали индекс биоэнергетики тканей (ИБТ), который представляет собой умноженное на коэффициент 100 соотношение скорости тканевого кровотока и времени

исчерпания половины запаса кислорода. ИБТ возрастает по мере роста скорости тканевого кровотока и увеличения скорости утилизации кислорода. Как показали ранее проведенные нами исследования, в норме в покое ИБТ составляет 28 и начинает компенсаторно увеличиваться у больных с облитерирующими заболеваниями артерий по мере снижения локомоторной выносливости до 300 м. При последующем снижении объемной скорости кровотока покоя ИБТ становится ниже уровня нормы [8].

Вторая группа больных (15 чел.) с отставанием в росте голени обследована также в процессе лечения и после его окончания. Однако в ходе дистракционного остеосинтеза проводились дополнительно 10 сеансов по 40 мин. гипербарической оксигенации (ГБО) под давлением 0,3 атм. Определение напряжения кислорода и углекислого газа производилось с помощью чрескожного датчика системы «Clark» полярографа «NOVAMETRIX» модель 840 VFD (США) с использованием 3-х минутной ишемической пробы. Скорость капиллярного кровотока тыла стопы оценивалась с помощью лазерного флоуметра BLF-21 фирмы «TRANSONIC» (США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Величина pO_2 в тканях стопы у больных до лечения практически не отличалась от показателей здоровых обследуемых (табл. 1). Прирост этого показателя у обследуемых контрольной группы после пробы с ингаляцией чистым кислородом составил 25%. У больных он был в 2 раза меньше. В процессе лечения pO_2 снижалось на 20%, однако при пробе с ингаляцией чистым кислородом его прирост достигал 48% ($p \leq 0,05$). После окончания лечения pO_2 в тканях стопы стало выше исходного уровня (рис. 1).

У больных до лечения ИБТ увеличен на 31% ($p \leq 0,001$), продолжает оставаться высоким в процессе дистракции и имеет тенденцию к нормализации после окончания лечения. Следовательно, снижение pO_2 в процессе лечения можно

объяснить увеличением гидратации тканей, ухудшением диффузии кислорода через биологические мембраны. Вдыхание чистого кислорода при этом улучшает их оксигенацию.

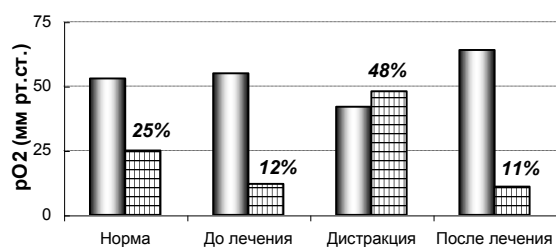


Рис. 1. Напряжение кислорода в тканях стопы и его прирост при проведении пробы с ингаляцией чистого кислорода на этапах лечения больных.

Таблица 1.

PO_2 и скорость тканевого кровотока (ТК) у больных 1 группы

Обследуемые	ТК (мл/мин* 100 см ³)	ИБТ	pO_2 (мм рт.ст.)	Максимальное pO_2 (мм рт.ст.)
Контрольная группа (20)	21,4 ± 1,2	28,9 ± 1,7	53 ± 6	66 ± 4
Больные до лечения (25)	22,3 ± 0,8	37,8 ± 1,8	52 ± 6	58 ± 7
Больные в процессе дистракции (21)	24,6 ± 2,1	38,4 ± 3,7	42 ± 5	62 ± 5
Больные после лечения (22)	21,3 ± 1,2	32,3 ± 2,1	64 ± 6	71 ± 3

У больных второй группы показатель транскутанного напряжения кислорода $Ptc O_2$ оказался недостоверно выше (на интактной конечности на 7,5% по сравнению с уровнем нормы, на отстающей в росте конечности - на 20% по сравнению с больными первой группы). Величина $Ptc O_2$ близка к показателю максимального напряжения кислорода при его определении с помощью открытого платинового электрода (табл. 2).

В конце 3-х минутной ишемической пробы $Ptc O_2$ в тканях интактной конечности упало до 9 ± 6 мм рт.ст., больной конечности до лечения - до 15 ± 5 мм рт.ст., больной конечности при дистракции - до 18 ± 8 мм рт.ст. и при лечении в условиях баротерапии - до 15 ± 5 мм рт.ст. После окончания окклюзии артерий уровень напряжения кислорода в тканях возрастал в среднем до 70 мм рт.ст.

Амплитуда изменений $Ptc O_2$ при проведении пробы использована нами как дополнительный критерий диффузионной способности тканей. Остаточное значение $Ptc O_2$ на больной конечности выше, чем на интактной. Ещё хуже утилизируется кислород в процессе лечения. Однако после проведения сеансов ГБО он приблизился к исходному уровню. Следует отметить также, что после проведения сеансов ГБО произошло увеличение $Ptc O_2$ не только на больной, но и на интактной конечности (на 3,2 мм рт.ст.).

Транскутанное напряжение углекислого газа ($Ptc CO_2$) в тканях больной конечности было выше, чем в тканях интактной (см. табл. 2). Од-

нако величина прироста напряжения $Ptc CO_2$ при проведении ишемической пробы на интактной конечности увеличилась достоверно, а на отстающей в росте прирост составил всего 24%. Ещё меньше был прирост в процессе лечения больных (рис. 2). Проведение сеансов ГБО способствовало нормализации этого прироста, свидетельствующего о скорости обменных процессов в тканях.

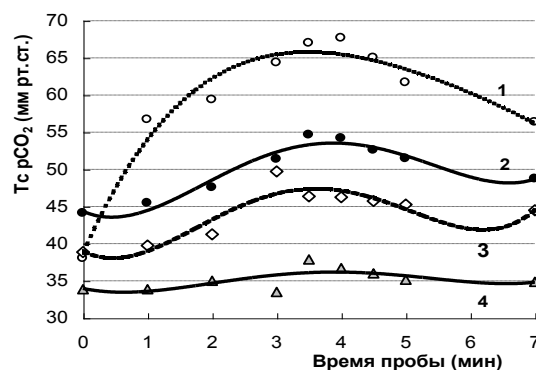


Рис. 2. Динамика $Ptc CO_2$ в тканях стопы при проведении 3-минутной ишемической пробы. 1 - интактная конечность; 2 - больная конечность до лечения; 3 - лечение с ГБО; 4 - дистракция до ГБО.

Скорость капиллярного кровотока (КК) отстающей в росте конечности до лечения достоверно не отличалась от величины КК интактной конечности (табл. 3). В процессе лечения скорость кровотока повышалась на 47% ($p < 0,05$). В условиях применения ГБО этот прирост составил всего 6% (рис. 3).

Таблица 2.

Транскутанное напряжение кислорода и углекислого газа в тканях стопы у больных второй группы

КОНЕЧНОСТЬ	$Ptc O_2$ (мм рт.ст.)	Амплитуда из- менений $Ptc O_2$	$Ptc CO_2$ (мм рт.ст.)	Прирост $Ptc CO_2$
Интактная конечность (15)	$57 \pm 6,5$	770%	38 ± 9	78% $P \leq 0,05$
Больная конечность:				
- до лечения (15)	$65,4 \pm 4,1$	477%	44 ± 9	24%
- дистракция (7)	$61,9 \pm 7,6$	367%	34 ± 6	12%
- лечение с сеансами баротерапии (8)	$64,3 \pm 5,1$	447%	39 ± 11	28%

Таблица 3.

Капиллярный кровоток (КК) стопы у больных второй группы при проведении ишемической пробы (мл/мин*100 см³)

	КК до пробы	КК через 15 с после ишемии	Максимальный прирост КК	КК через 120 с после пробы
Интактная конечность (15)	$2,24 \pm 0,41$	$4,47 \pm 0,92$	111%	$1,75 \pm 0,07$
Больная конечность:				
- до лечения (15)	$2,49 \pm 0,39$	$5,24 \pm 0,89$	110%	$2,18 \pm 0,61$
- в процессе дистракции (18)	$3,66 \pm 0,47$	$11,38 \pm 2,11$	211%	$3,38 \pm 0,97$
- дистракция с ГБО (14)	$2,65 \pm 0,25$	$8,37 \pm 1,68$	125%	$3,95 \pm 0,44$
- после лечения (6)	$3,15 \pm 0,80$	$5,72 \pm 1,82$	82%	$4,40 \pm 2,40$

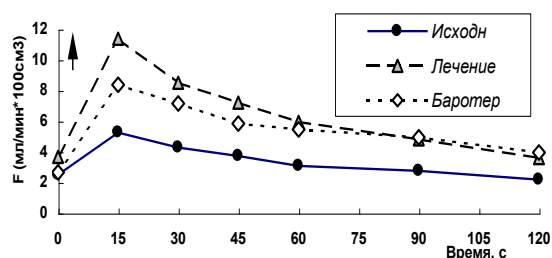


Рис. 3. Динамика скорости капиллярного кровотока при проведении ишемической пробы.

Известно, что в ранах формирующейся костной мозоли после перелома берцовой кости pO_2 существенно снижено и не поднимается до конца лечения более 30 мм рт.ст. [9, 10]. Под влиянием ГБО происходит уменьшение отека травмированных тканей [11]. Принято считать, что в основе терапевтического эффекта ГБО лежит увеличение кислородной емкости крови за счет растворения в ней дополнительного объема кислорода. Однако вследствие повышения pO_2 в артериальной крови после проведения сеансов ГБО наступает уменьшение скорости кровотока в тканях как физиологическое проявление реакции системы антиоксидантной защиты [3]. Поэтому терапевтическое действие ГБО осуществляется, скорее всего, через эффект перекисного окисления липидов, когда его активация компенсируется адекватными изменениями всех звеньев антиокислительной системы.

Применение более удобного метода определения транскутанного определения напряжения кислорода с автоматической калибровкой дат-

чика позволило получить несколько более высокие значения $Ptc O_2$, которые относительно мало снижались в процессе лечения, в отличие от данных, получаемых при использовании открытых игольчатых датчиков.

В условиях дистракционного остеосинтеза становятся меньше величины pO_2 , $Ptc O_2$ и $Ptc CO_2$ в кожных покровах. Это уменьшение отражает снижение интенсивности метаболизма тканей, которое не компенсируется в условиях ускоренного тканевого кровотока, осуществляющегося в значительной мере через артерио-венозные шунты. При ингаляции чистым кислородом pO_2 в тканях увеличивается в полтора раза.

Существенные отклонения в кислородном режиме тканей выявляются у больных при удлинении конечности в условиях проведения функциональной ишемической пробы. Величина $Ptc O_2$ снижается всего до $17,7 \pm 8,7$ мм рт.ст., $Ptc CO_2$ возрастает лишь на 12%, а капиллярный кровоток после окончания пробы достигает $11,4 \pm 2,1$ мл/мин $\times 100$ см³.

Применение ГБО приводит к тому, что эти отклонения приближаются по величине к наблюдаемым при проведении пробы на отстающей в росте конечности у больных до начала лечения. Следовательно, при удлинении конечности с применением сеансов ГБО выявлен более щадящий кислородный режим в тканях, что дает основание надеяться на более полное восстановление в дальнейшем сократительной способности мышц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермаков В.И. О динамике кислородного режима тканей организма // Изменение периферического кровообращения у больных с переломами в процессе реабилитации: Сб. науч. работ. - Иваново, 1979. - С. 56-63.
2. Руководство по гипербарической оксигенации: теория и практика клинического применения. / Под ред. С.Н. Ефун. - М.: Медицина, 1986. - 416 с.
3. Бокерия Л.А., Марин А.И., Павлов А.В. Кислородный режим организма в условиях гипербарической оксигенации и влияние на него сердечного выброса // Анестезиол. реаниматол. - 1982. - N 4. - С. 22-24.
4. Kunze K. Das Sauerstoffdruckfeld in normalen und pathologisch veränderten Muskel // Schriftenr. Neurol. - 1969. - Bd. 3. - S. 1-118.
5. Dissociation of maximal O_2 uptake from O_2 delivery in canine gastrocnemius in situ / M.C. Hogan, J. Roca, J.B. West, P.D. Wagner // J. Appl. Physiol. - 1989. - Vol.66, N 3. - P. 1219-1226.
6. Щуров В.А., Горбачева Л.Ю., Сысенко Ю.М. Изменение давления в икроножной мышце при лечении больных с повреждениями костей голени по Илизарову // Вестн. хир. - 1994. - № 1-2. - С. 67-69.
7. Кочутин Л.Н. Особенности гистогенеза мышц голени при ее удлинении методом монолокального остеосинтеза по Илизарову // Мышечная активность и жизнедеятельность человека и животных (институт эволюционной морфол. и экологии животных АН СССР). - М., 1986. Депон. в ВИНТИ 23.06.86. - № 4596-В. - С. 86-90.
8. Щуров В.А. Физиологические основы эффекта стимулирующего влияния растяжения тканей на рост и развитие при удлинении конечности по Илизарову: Автореф. дис. д-ра мед. наук. - Пермь, 1993. - 32 с.
9. Niinikoski J. Oxygen and wound healing // Clin. Plast. Surg. - 1977. - Vol. 4, N 3. - P. 361-374.
10. Brighton C.T., Krebs A.G. Oxygen tension of healing fractures in the rabbit // J. Bone Jt. Surg. - 1972. - Vol. 54-A. - P. 323-332.
11. Антрощенко З.Б., Федорова Н.И., Бялик И.Ф. Гипербарическая оксигенация при травматическом отеке тканей // Сов. мед. - 1983. - N 9. - С. 59-61.

Рукопись поступила 22.01.01.