

## **Влияние ГБО на минеральную плотность костей в месте перелома**

**В.И. Шевцов, А.А. Свешников, Е.В. Николайчук**

### ***HBO effect on the mineral density of bones in the site of fracture***

**V.I. Shevtsov, A.A. Sveshnikov, E.V. Nickolaichouck**

Федеральное государственное учреждение науки

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

У 23 больных в возрасте 20-50 лет изучали влияние ГБО на минеральную плотность как в месте переломов, так и в удаленных от места травмы участках скелета – позвоночнике, используя рентгеновский двухэнергетический костный денситометр фирмы «GE/Lunar» (США). ГБО назначали на 3, 7-15 или 20-25 дни после перелома. Количество сеансов – 5 или 10. В контрольной группе, куда были отнесены больные с травмами, которые не получали сеансы ГБО, МП постепенно снижалось. Деминерализация на 21-й день составляла 30 %. При назначении ГБО с третьего дня после перелома при пяти сеансах ускорялся процесс деминерализации костных отломков, необходимый для соприкосновения органической основы. При 10 сеансах ускорялся и репаративный процесс. Наилучший эффект стимуляции костеобразования отмечен, если ГБО начинали на 7-15-й или 20-25-е дни после перелома.

**Ключевые слова:** переломы, гипербарическая оксигенация, минералы кости.

The effect of HBO on the mineral density was studied in 23 patients at the age of 20-50 years; it was studied both in the site of fracture and in the skeletal parts distant from the injury site, the spine, using a roentgen double-energy bone densitometer of «GE/Lunar» firm (USA). HBO was prescribed on 3, 7-15 or 20-25 days after fracture occurrence. It was performed by sessions, 5 or 10 in number. In the control group to which patients with injuries were attributed, who were not subjected to HBO sessions, mineral density gradually decreased. Demineralization accounted for 30% on day 21. If HBO was prescribed from the third day after fracture occurrence and performed by five sessions, the process of demineralization of bone fragments necessary for organic matrix contact was accelerated. If HBO was made by 10 sessions, reparative process was accelerated as well. If HBO was started on 7-15 or 20-25 days after fracture the best effect of osteogenesis stimulation was noted.

**Keywords:** fractures, hyperbaric oxygenation, bone minerals.

#### ВВЕДЕНИЕ

Анализ клинических и экспериментальных исследований отечественных и зарубежных ученых указывает на полное отсутствие научных работ, посвященных изучению роли гипербарической оксигенации в комплексном лечении травматологических больных с закрытыми диафизарными переломами костей конечностей в условиях чрескостного остеосинтеза по Илизарову.

Значительный вклад в обоснование клинического использования ГБО при травматических повреждениях конечностей принадлежит А.Ф. Краснову и Н.Ф. Давыдкину (1991). По их мнению, включение гипербарической оксигенации в комплекс лечения пострадавших с переломами показано в тех случаях, когда по локализации, тяжести и характеру перелома предполагается замедленное формирование костной мозоли. Применение ГБО у больных с переломами костей конечностей, по их данным, сни-

жает выраженность общей воспалительной реакции на травму. При этом улучшаются условия для репаративных процессов, что обеспечивает статистически достоверное сокращение сроков заживления мягких тканей, сращения костных отломков, более раннее восстановление трудоспособности больных. В то же время в данных работах отсутствует объективная и достоверная информация, подтверждающая воздействие ГБО на костный регенерат.

Наше исследование проводилось с целью количественной оценки влияния гипербарической оксигенации на сращение костных отломков и включало анализ денситометрической плотности области регенерата на рентгеновском двухэнергетическом костном денситометре фирмы «General Electric Medical Systems/Lunar» серии DPX, модель NT с программой enCore™2002 у больных с переломами костей голени в условиях лечения по методу Илизарова.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Наблюдения проведены на 23 мужчинах и женщинах 20-50 лет, имевших диафизарные переломы костей голени. Чрескостный остеосинтез осуществляли по Г.А. Илизарову. Контролем служила группа больных с такими же переломами, не проходивших курс ГБО.

ГБО-терапия проводилась в барокамере БЛКС-303МК один раз в сутки под давлением 1,4-1,8 Ата. Продолжительность сеанса – 60 минут, время изопрессии – 40 минут. Общее количество сеансов – 5 или 10. ГБО назначали на 3-й, 15-й или 20-25-й дни после перелома при наличии повышенного исходного уровня адреналина.

Измерения минеральной плотности (МП) выполняли в стандартных точках: во всем теле и поясничном отделе позвоночника. После обследо-

вания всего тела методом локального анализа выделяли область перелома и симметричный участок на противоположной конечности. В позвоночнике, наряду с МП ( $\text{г/см}^2$ ), определяли суммарное содержание минералов в граммах в каждом позвонке, а также общее их количество в  $L_2-L_4$ . Затем производился автоматический обсчет результатов. Все сравнения результатов производили, используя суммарное количество минералов, так как оно более точно отражает изменения, чем МП.

В качестве инструмента вычислений использован пакет статистического анализа и встроенные формулы расчетов компьютерной программы Microsoft® Excell (Microsoft® Office 1997 – Professional Runtime).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Контрольная группа.** В нее было отнесено аналогичное количество больных с диафизарными переломами костей голени, не получавших сеансы ГБО. В конечности, противоположной той, где имелся перелом, МП не изменялась в течение всего времени наблюдения. В месте перелома на третий день МП была снижена на 8 % (табл. 1). На восьмой день (он соответствует завершению пяти сеансов ГБО) деминерализация составила 14 %. Через 3 месяца МП была меньше нормы на 7 %.

**Группа больных, получивших пять сеансов ГБО.** Перед началом сеансов ГБО в конечности, противоположной травмированной, плотность не изменена по сравнению с контрольной группой, а в области перелома на травмированной конечности МП снижена на 7 % (табл. 1). После пятого сеанса ГБО отмечено снижение МП до 11 %, но в течение следующих трех месяцев она существенно возросла (деминерализация составила только 4 %).

**Группа больных, получивших 10 сеансов ГБО.** В интактной конечности МП была стабильной и не отличалась от контрольной группы. В травмированной конечности на третий день после перелома МП меньше противоположной на 9 %, с 10-го сеанса – на 8 %. В течение последующих трех месяцев МП полностью восстановилась (табл. 1).

Таким образом, ГБО на протяжении пяти сеансов вследствие усиления обменных процессов в тканях ускоряло процесс деминерализации, которая является необходимым моментом для начала регенерации (без обнажения органической основы перелом не может начать срастаться). После наступления этого момента регенерация протекает быстрее: после 10 сеансов ГБО стимулировался как процесс деминерализации, так и регенерации, в силу чего сразу после окончания сеансов де-

фицит минералов составил 8 %, а через 3 месяца после сеансов ГБО полностью восстановился.

**Применение ГБО на 7-15-й день после перелома.** В конечности, противоположной травмированной, МП была без изменений. В большой конечности в месте перелома накануне сеансов ГБО МП снижена на 23 % (табл. 2). Это закономерное явление после переломов. Можно предположить, что убыль такого количества минералов вполне достаточна для соприкосновения органической основы и ГБО стимулирует главным образом репаративное костеобразование, в силу этого сразу после завершения сеансов ГБО дефицит минералов составил 13 %, а через 3 месяца – 7 %. Эти результаты указывают на устойчивый эффект ГБО на репаративный процесс.

**Применение ГБО на 20-25-й день после перелома.** Это время, когда концы костных фрагментов были максимально деминерализованы (по данным нашего исследования на 30 %). На таком фоне эффект от ГБО оказался максимальным, а МП после завершения сеансов близкой к норме (95 %). Через 3 месяца МП не отличалась от нормы (табл. 2).

**Влияние ГБО на содержание минеральных веществ в позвоночнике. Эффективность применения ГБО на 3-й день после перелома.** В контрольной группе на 3-й день после перелома содержание минеральных веществ (СМВ) в поясничном отделе позвоночника было снижено на 5 % (у здорового человека суммарное содержание минералов в  $L_2-L_4$  составляет  $60,777 \pm 2,289$  г, МП –  $1,273 \pm 0,036$   $\text{г/см}^2$ ). На 8-й день (соответствует пятому сеансу ГБО) СМВ было снижено на 10 %. Через 3 месяца эта величина составила 3 %. После пяти сеансов ГБО СМВ в позвоночнике, по сравнению с контрольной группой, было меньше на 5,6 %. Через 3 месяца – не отличалось от контроля (табл. 3).

После 10 сеансов наблюдалось увеличение СМВ на 8,3 %.

**Эффективность применения ГБО на 7-15-й день после перелома.** В контрольной группе на 7-15-й день после травмы СМВ в позвоночнике было меньше, чем на третий день, на 11 %. На протяжении последующих десяти дней СМВ продолжало снижаться до 83 %. По сравнению с данным контролем после десяти сеансов ГБО наблюдалась отчетливо выраженная тенденция к нормализации – СМВ больше на 14,4 % (табл. 4). Эффект оказался стойким.

**Эффективность применения ГБО на 20-25-й день после перелома.** В контроле в эти дни уже намечается тенденция к увеличению СМВ (2,6 %). В течение последующих 10 дней оно увеличивается на 4,1 %. Через три месяца минералов было больше на 3,8 %. Применение ГБО на фоне сниженного СМВ привело к увеличению СМВ на 10,4 % по сравнению с контролем. Через три месяца СМВ было нормальным.

Таким образом, ГБО не только стимулирует репаративный процесс, но и нормализует МП в деминерализованных костях.

Таблица 1  
Минеральная плотность (г/см<sup>2</sup>) в месте перелома в зависимости от числа сеансов ГБО (M±SD)

Время обследования	n	Контроль		Больные			
		Перелом	Противоположная конечность	5 сеансов ГБО		10 сеансов ГБО	
				Перелом	Противоположная конечность	Перелом	Противоположная конечность
До ГБО	13	1,448±0,035	1,574±0,032	1,444±0,038	1,553±0,053	1,377±0,020	1,513±0,069
После последнего сеанса	12	1,346±0,059	1,565±0,022	1,404±0,044	1,577±0,031	1,437±0,013	1,562±0,037
Через 3 месяца после травмы	12	1,442±0,040	1,551±0,044	1,487±0,022	1,549±0,074	1,538±0,033	1,543±0,041

Примечание: контроль – больные, не получавшие сеансы ГБО

Таблица 2  
Минеральная плотность (г/см<sup>2</sup>) в месте перелома в зависимости от дня начала сеансов ГБО (число сеансов 10; M±SD)

Время обследования	n	Контроль		День после перелома			
		Перелом	Противоположная конечность	7-15		20-25	
				Перелом	Противоположная конечность	Перелом	Противоположная конечность
До ГБО	6	1,212±0,055	1,574±0,032	1,168±0,072	1,516±0,055	1,085±0,037	1,558±0,028
После последнего сеанса	7	1,362±0,034	1,565±0,022	1,328±0,024	1,529±0,034	1,473±0,024	1,541±0,057
Через 3 месяца после травмы	6	1,427±0,040	1,551±0,044	1,411±0,038	1,533±0,042	1,519±0,042	1,528±0,035

Примечание к таблицам 2 и 3: контроль – больные, не получавшие сеансы ГБО; n – число пациентов во всех группах.

Таблица 3  
Минеральная плотность (г/см<sup>2</sup>) поясничного отдела позвоночника (L<sub>2</sub>-L<sub>4</sub>) в зависимости от числа сеансов ГБО (M±SD)

Время обследования	n	Контроль		Больные			
		Всего минералов (г)	МП (г/см <sup>2</sup> )	5 сеансов ГБО		10 сеансов ГБО	
				Всего минералов (г)	МП (г/см <sup>2</sup> )	Всего минералов (г)	МП (г/см <sup>2</sup> )
До ГБО	13	57,738±2,774	1,209±0,044	57,621±2,281	1,195±0,034	57,211±2,317	1,176±0,051
После последнего сеанса	12	54,693±2,701	1,146±0,038	51,630±1,283	1,031±0,041	59,240±2,289	1,238±0,060
Через 3 месяца после травмы	12	58,954±2,853	1,235±0,025	58,785±2,111	1,198±0,029	59,920±2,342	1,241±0,032

Таблица 4  
Минеральная плотность поясничного отдела позвоночника (L<sub>2</sub>-L<sub>4</sub>) в условиях применения ГБО (10 сеансов; M±SD)

Время обследования	n	Контроль		7-15 день после перелома	
		Всего минералов (г)	МП (г/см <sup>2</sup> )	Всего минералов (г)	МП (г/см <sup>2</sup> )
До ГБО	6	51,386±2,343	1,076±0,034	51,471±2,172	1,056±0,038
После последнего сеанса	7	47,923±2,701	1,003±0,048	54,825±2,036	1,147±0,041
Через 3 месяца после травмы	6	57,675±1,853	1,203±0,025	58,900±2,001	1,246±0,037

Примечание к таблицам 4 и 5: контроль – больные, не получавшие сеансы ГБО

Таблица 5  
Состояние минеральной плотности (МП, г/см<sup>2</sup>) поясничного отдела позвоночника (L<sub>2</sub>-L<sub>4</sub>) в условиях применения ГБО (10 сеансов; M±SD)

Время обследования	n	Контроль		20-25 день после перелома	
		Всего минералов (г)	МП (г/см <sup>2</sup> )	Всего минералов (г)	МП (г/см <sup>2</sup> )
До ГБО	6	52,722±1,626	1,104±0,094	52,486±1,123	1,179±0,087
После последнего сеанса	7	53,492±1,701	1,119±0,098	59,100±4,667	1,235±0,024
Через 3 месяца после травмы	6	53,338±1,853	1,117±0,125	60,732±3,782	1,206±0,124

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нами обнаружено, что стимулирующий репаративный процесс эффект ГБО отчетливо выявляется при 10 сеансах. Наиболее отчетливая стимуляция костеобразования наблюдалась, если сеансы назначали на 7-15-й и 20-25-й дни после перелома. Как показали наши многочисленные наблюдения [1] в условиях чрескостного остеосинтеза МП у концов костных отломков непрерывно снижается и достигает минимального значения (70 %) на 21-й день, что создает максимально благоприятные условия для сопряжения органической основы и активного течения репаративного процесса. Действие ГБО при пяти сеансах было направлено в основном на ускорение деминерализации.

Вопрос о механизме действия гипербарической оксигенации (ГБО) до сих пор остается до конца не изученным, хотя и имеется ряд основополагающих работ [2-7]. Ведущая роль в происходящих изменениях принадлежит специфическим и неспецифическим адаптационным реакциям организма [3-5]. В большей мере изучены прямые влияния на здоровый и больной организм. Неспецифические реакции обусловлены деятельностью симпатoadренальной системы [5-7].

Изменение кровообращения и уменьшение скорости лимфотока после травмы приводили к дополнительному (помимо гематомы) сдавлению тканей отеочной жидкостью. В силу этого остеогенные клетки находились в условиях гипоксии, которая сопровождалась гликолизом – обменом веществ, менее выгодным в энергетическом отношении. Это отражалось на скорости перестройки костных отломков, так как нормальная функция остеобластов возможна лишь при хорошей их оксигенации. ГБО положительно влияла на общую гемодинамику, снимала спазм сосудов в зонах ишемии, улучшала капиллярный кровоток, способствовала развитию коллатералей [7].

Нормализация местного кровообращения под влиянием ГБО приводила к снятию гипоксии, усилению интенсивности обмена веществ в тканях места перелома, что способствовало нормализации репаративного процесса [7].

Пролиферация клеток и синтез коллагена зависят от активности биоэнергетических процессов. В первые три дня после травмы она увеличивалась под влиянием повышенной концентрации цАМФ, происходило напряжение адренергических механизмов, что сопровождалось ингибированием деления клеток [8]. После третьего сеанса ГБО содержание цАМФ снижалось, увеличивалось цГМФ, что сопровождалось подключе-

нием холинергических механизмов.

Рефлекторные механизмы, включающиеся в нейрогуморальную систему посредством гипероксического раздражения нейрорецепторов (механо-, хемо- и адренорецепторов), распространяют регуляторное и/или ингибирующее влияние на функциональную, метаболическую и морфогенетическую активность клеток-мишеней.

Гипербарическая оксигенация усиливала анаболические процессы в поврежденных тканях и снижала активность катаболических. Нормализация фосфорно-кальциевого обмена способствовала перестройке формирующейся костной мозоли в кость в оптимальные сроки. В силу этого при переломах происходила нормализация репаративного остеогенеза [7].

При ГБО повышается резистентность к повреждающим факторам и поддерживается жизнеспособность целостного организма. Это достигается путем изменения нейрогуморальной регуляции, ферментативной активности, воздействия на противовоспалительные механизмы и иммунореактивный статус в целом; приближения разбалансированных параметров гомеостаза и метаболизма к физиологической норме [7].

При первых сеансах ГБО нами отмечен отчетливо выраженный стрессорный эффект в силу чего активнее происходила деминерализация. На это указывало увеличение концентрации гормонов стресс-группы, но уже после четвертого сеанса выявлен стресспротекторный эффект [7]. Он обусловлен активацией антиокислительной активности и оптимизацией основных газовых показателей крови.

Образованию органической основы регенерата способствовала повышенная концентрация соматотропина, стимулирующего анаболические процессы. При одновременном действии соматотропина и паратирин активизировалась пролиферация остеогенных клеток, превращение клеток-предшественников в остеобласты, усиливалась биосинтетическая активность для образования костной ткани [1].

В предыдущих наших исследованиях [1, 7, 9] мы наблюдали увеличение цГМФ, который стимулировал освобождение лизосомальных энзимов и гистамина, приводил в движение клеточный пул и стимулировал пролиферацию клеток костного мозга. Индукторы пролиферации клеток, взаимодействуя с рецепторами мембран, усиливали транспорт ионов внутрь клеток.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 04-07-96030.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свешников, А. А.. Материалы к разработке комплекса способов коррективки функциональных изменений в органах при чрескостном остеосинтезе / А. А. Свешников // Гений ортопедии. - 1999. - № 1. - С.74-81.

2. Зальцман, Г. Л. Основы гипербарической физиологии / Г. Л. Зальцман, Г. А. Кучук, А. Г. Гургенидзе. – Л. : Медицина, 1979. – 323 с.
3. Леонов, А. Н. Гипероксия. Адаптационно-метаболическая концепция саногенеза / А. Н. Леонов // Бюлл. гипербарической биол. и мед. – 1994. - № 1-3. – С. 1-4.
4. Киселев, С. О. Новая версия саногенеза оксигенобаротерапии (адаптационно-физиологическая концепция) / С. О. Киселев // Гипербарическая физиол. и мед. – 1998. - № 2. – С. 3-14.
5. Функциональное состояние симпато-адреналовой системы под влиянием ГБО / С. О. Киселев [и др.] // Гипербарическая физиол. и мед. – 1999. - № 4. – С. 4-11.
6. Киселев, С. О. Механизмы саногенеза оксигенобаротерапии при заболеваниях нервной системы / С. О. Киселев, М. А. Лобов // Гипербарическая физиол. и мед. – 2000. - № 1. – С. 10-11.
7. Влияние гипербарической оксигенации на состояние репаративного костеобразования при лечении больных после травм по Илизарову / А. А. Свешников, Ю. М. Сысенко, Е. В. Николайчук и др. // Гипербарическая физиология и медицина. – 2002. - № 3. – С. 6-17.
8. Свешников, А. А. Роль циклических нуклеотидов в репаративном костеобразовании / А. А. Свешников, Н. В. Офицерова, С. В. Ральников // Вопр. мед. химии. – 1989. - № 4. – С. 9-11.
9. Свешников, А. А. Денситометрический и радиоиммунологический контроль репаративного костеобразования в процессе исправления деформаций конечностей при болезни Эрлахера-Блаунта / А. А. Свешников, Д. А. Алекберов, Л. А. Смотрова // Гений ортопедии. - 2002. - № 2. - С. 50-56.

Рукопись поступила 19.02.04.

## Новости из Интернета

---

В этой рубрике мы представляем перечень публикаций по применению метода Илизарова за рубежом (2005-2006 г.). Информационный поиск проведен по каталогам Национальной медицинской библиотеки США, Google, HighWire, SpringerLink.

### ЛЕЧЕНИЕ ПЕРЕЛОМОВ КОНЕЧНОСТЕЙ

1: Kumar P, Singh GK, Singh M, Bajraacharya S. Treatment of Gustilo grade III B supracondylar fractures of the femur with Ilizarov external fixation. Acta Orthop Belg. 2006 Jun;72(3):332-6. PMID: 16889146 [PubMed - in process].

*Лечение надмыщелковых переломов бедра III B степени аппаратом Илизарова для внешней фиксации*

2: McGarvey WC, Burris MW, Clanton TO, Melissinos EG. Calcaneal fractures: indirect reduction and external fixation. Foot Ankle Int. 2006 Jul;27(7):494-9. PMID: 16842715.

*Переломы пяточной кости: не прямое вправление и внешняя фиксация (аппарат Илизарова).*

3. E. Hasankhani, M. T. Payvandi, A. Birjandinejad. The Ilizarov Ring External Fixator in Complex Open Fractures of the Tibia. European Journal of Trauma, Volume 32, Number 1 / Februar 2006, P. 63-68.

*Кольцевой аппарат Илизарова в лечении сочетанных открытых переломов голени.*

4: Vidyadhara S, Rao SK. Ilizarov treatment of complex tibial pilon fractures. Int Orthop. 2006 Apr;30(2):113-7. Epub 2006 Jan 25. PMID: 16435148.

*Лечение по методу Илизарова сложных переломов дистальной суставной поверхности большеберцовой кости.*

5: Brusov PG, Nikolenko VK. Experience of treating gunshot wounds of large vessels in Afghanistan. World J Surg. 2005;29 Suppl 1:S25-9. PMID: 15815812 [PubMed - indexed for MEDLINE].

*Опыт лечения магистральных сосудов при огнестрельных ранениях в Афганистане*

6: Sabharwal S. Role of Ilizarov external fixator in the management of proximal/distal metadiaphyseal pediatric femur fractures. J Orthop Trauma. 2005 Sep;19(8):563-9. PMID: 16118564

*Роль аппарата Илизарова в лечении проксимальных/дистальных метадиафизарных переломов бедра у детей.*

7: Ocguder DA, Ozer H, Solak S, Onem RY, Agaoglu S. Functional results of the Ilizarov circular external fixator in the treatment of open tibial fractures. Acta Orthop Traumatol Turc. 2005;39(2):156-62. Turkish. PMID: 15925939 [PubMed - indexed for MEDLINE].

*Функциональные результаты лечения открытых переломов голени кольцевым аппаратом Илизарова.*

8: El Barbary H, Abdel Ghani H, Misbah H, Salem K. Complex tibial plateau fractures treated with Ilizarov external fixator with or without minimal internal fixation. Int Orthop. 2005 Jun;29(3):182-5. Epub 2005 Mar 9. PMID: 15756605 [PubMed - in process].

*Лечение сложных переломов проксимальной суставной поверхности большеберцовой кости аппаратом Илизарова с или без минимальной внутривенной фиксации.*