

Рентгенологическая картина заживления "спицевых" дефектов кости и их влияние на пульсовое кровенаполнение сосудов полости диафиза

В.И. Шевцов, В.С. Бунов, Н.И. Гордиевских, Д.В. Бунов

The x-ray healing picture of bone «wire» defects and their effect on pulse blood filling in the vessels of diaphyseal cavity

V.I. Shevtsov, V.S. Bunov, N.I. Gordiyevskikh, D.V. Bunov

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)

На 15 тазовых конечностях взрослых собак произведено 60 поперечных туннелизаций диафиза большеберцовой кости, 71 рентгенография голени и такое же количество исследований пульсового кровенаполнения в полости диафиза с помощью реовазографии. Выявлено, что дефекты компактного вещества составляли 5% от площади диафиза большеберцовой кости в прямой проекции. Через месяц в зоне каждого дефекта компактного вещества и прилежащей части полости диафиза костный регенерат был представлен разрозненными очагами оссификации, через 2 месяца - новообразованным веществом кости с гомогенной структурой, плотность тени которого через 4 месяца полости диафиза соответствовала таковой прилежащих участков компактного вещества. По данным реовазографии дефекты компактного вещества стали причиной увеличения пульсового кровенаполнения в полости диафиза на 49%, а процессы костеобразования - дополнительного увеличения ещё на 48%.

Ключевые слова: эксперимент, собаки, голень, диафиз, дефект, рентгенография, реовазография, туннелизация, костный регенерат.

60 transverse tunnelizations of tibial diaphysis, 71 roentgenographies of leg and the same number of pulse blood filling tests in the diaphyseal cavity with rheovasography were made using 15 pelvic limbs of adult dogs. It was revealed that defects of compact bone substance amounted to 5% of the area of tibial diaphysis by AP view. After one month the regenerated bone was seen as isolated foci of ossification in the zone of each defect of compact substance, after 2 months – as newly formed bone substance of homogenous structure, after 4 months the density of the substance in the diaphyseal cavity conformed to that of the adjacent parts of the compact substance. By rheovasography data the defects of compact substance became a cause of 49%-increase of the pulse blood filling in the diaphyseal cavity and osteogenesis processes became a cause of its additional increase of 48% more.

Keywords: experiment, dogs, leg, diaphysis, defect, roentgenography, rheovasography, tunnelization, regenerated bone.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что дистракционный остеосинтез способствует стимуляции кровообращения в конечности [1, 8]. Однако механизм эффекта ещё не ясен, так как может быть следствием травмы, раздражения тканей спицами, репаративной регенерации, поддерживаемой дистракцией, перестройки кости и так далее.

Одним из способов определения результата многокомпонентного воздействия является разделение на составляющие. При наложении аппарата Илизарова травму создаёт проведение спиц. После их удаления контракция приводит к сближению раневых поверхностей мягких тканей, ускоряющему заживление. В то же время дефекты компактного вещества "зияют" и постепенно заполняются регенератом, в течение

нескольких месяцев перестраивающимся в органотипичный участок кости [5]. Следовательно, продолжительность процессов регенерации после пронизывания - туннелизации кости спицей, определяет заживление дефектов компактного вещества.

По данным литературы, в изолированных дефектах кости механические условия оптимальны и заживление зависит от состояния кровообращения [4, 12]. Кровоток по питательным артериям обеспечивает потребности диафиза кости на 70 % и содержимого его полости на 97 % [13]. Соответственно, источниками кровоснабжения костного регенерата в основном служат сосудистая система полости диафиза и на треть снаружи - надкостницы [3, 7, 14]. В зоне регенерации активность синтеза и резорбции ткане-

вых элементов определяет обмен веществ, интенсификацию которого обеспечивает артериальная гиперемия [2]. После нанесения травмы приток крови к конечности увеличивается в течение недели, остаётся на достигнутом уровне до 3-х недель и постепенно уменьшается в течение следующих 6-8 недель. Местные изменения кровообращения сохраняются длительно соответственно активности процессов регенерации [6].

Так как проведение спиц через кость является обязательным условием применения аппарата Илизарова, а данные об изменениях кровообращения, сопутствующих заживлению "спицевых" дефектов компактного вещества, в литературе не выявлены, были проведены экспериментальные исследования по изучению взаимосвязи регенерации и пульсового кровотока в полости диафиза длинной кости после его туннелизации спицей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На тазовых конечностях 15 взрослых собак произведено 60 поперечных туннелизаций диафиза большеберцовой кости, 71 рентгенография голени и РВГ в полости диафиза. Эксперименты проведены при соблюдении правил работы с животными: под внутривенным наркозом стерильными инструментами при контроле сердечной деятельности с помощью электрокардиографии.

Для канюлирования полости диафиза использовали иглу для переливания крови И-65, укороченную до 2-х см. На основание иглы надевали муфту - обтягивающий фрагмент синтетической трубки, изолирующий от мягких тканей и ограничивающий глубину погружения свободного конца иглы в полость до 2-х мм. Иглу фиксировали в специальном наконечнике электродрели, снабжённом мандреном, проводили через компактное вещество в области границы средней и нижней трети диафиза. После удаления мандрена полость иглы заполняли изотоническим раствором хлорида натрия. Отступив 3 см, в верхнюю треть полости диафиза вводили вторую иглу, заполняли изотоническим раствором хлорида натрия и герметизировали заглушкой. К иглам присоединяли электроды для реовазографии. С помощью реографа РГ 4-01 при силе зондирующего тока 1 мА и частоте 46 кГц регистрировали: основное сопротивление изучаемого участка (Р), Ом, объёмные (РВГ) и дифференциальные реограммы. Запись с помощью комплекса "Мингограф-82" при скорости движения ленты 100 мм/с.

Проводили контрольные исследования. Затем спицей диаметром 1,8 мм пронизывали кость в поперечнике на 1 и 2 см выше и ниже иглы на границе средней и нижней трети диафиза. Количество спицевых туннелей соответствовало результатам проведения 2 пар перекрещивающихся спиц. Распределение туннелей по длине диафиза обеспечило наглядность. Исследования заканчивали рентгенографией голени в 2-х стандартных проекциях с помощью аппарата АРД - 2. Голень собаки укладывали на

кассету в 90 см от рентгеновской трубки аппарата. Рентгенографию осуществляли при силе тока 40 мА, напряжении 48-52 кВ, экспозиции 0,25 с. На рентгенограммах длину диафиза определяли по методике, изложенной в Универсальной классификации переломов АО/ASIF. С помощью миллиметровой сетки измеряли длину кости - расстояние между суставными поверхностями без высоты лодыжек, из которой вычитали высоту метафизов, равную наиболее широкой части эпифиза. Величину дефектов компактного вещества и регенерата определяли также с помощью миллиметровой сетки и соотносили с параметрами диафиза кости отдельно для каждой рентгенограммы.

На объёмных реовазограммах в системе координат на оси Х определяли длину отрезков до точек окончания периода быстрого наполнения и изгнания крови. Вычисляли: 1) продолжительность периодов пульсовой волны путём умножения длины отрезков по оси Х (мм) на 0,01 с; 2) амплитуду РВГ в точке окончания периода быстрого наполнения: $Apг = H \cdot k / k$, Ом; где H - амплитуда волны, см, k - калибровочный сигнал, в числителе 0,05 Ом, в знаменателе - в см·Ом; 3) скорость пульсового кровенаполнения - $tg \alpha$, как отношение амплитуды к продолжительности периода быстрого наполнения, Ом/с; 4) регионарный пульсовый объём (РПО): $РПО = J \cdot L^2 \cdot tg \alpha \cdot Ti \cdot 1,05 / P^2$, мл·с; где J - удельное сопротивление крови, 150 Ом·см; L - расстояние между электродами, см; Ti - период изгнания, с; 1,05 - удельная масса 1 мл крови для перевода см³ в мл; 5) Регионарный минутный пульсовый объём (РМПО): $РМПО = РПО \cdot ЧСС$, мл·мин, где ЧСС - частота сердечных сокращений [10, 11].

Контролем служили результаты исследований до операции. Исследования повторяли через 30, 60, 90, 120, 180, 360 и 520 дней. Из полученных данных составляли невзвешанные вариационные ряды. С помощью программы "Exel-7,0" определяли средние, ошибку, достоверность средних и их различий по Стьюденту.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рентгенограммах после операции общее количество дефектов компактного вещества диафиза большеберцовой кости, включая таковые от игольчатых электродов, составляло 10. В прямой проекции (рис. 1, а) они выглядели как полосы разряжения, пересекающие компактное вещество. Их ширина равнялась 2 мм. В полости диафиза дефекты компактного вещества, полученные от пронизывания кости спицей, соединяла дорожка из мелких костных фрагментов, распределившихся по ходу спицевого канала (рис. 1, с). В боковой проекции (рис. 1, б) дефекты компактного вещества имели вид круглых отверстий, диаметр которых составлял 2 мм. Края отверстий окаймляла тень компактного вещества повышенной плотности шириной до 2-х мм, вероятно, зона распределения костных фрагментов вдоль спицевого канала.



Рис. 1. Рентгенограммы голени. После операции: а) прямая проекция; б) боковая проекция; с) зона туннелизации диафиза большеберцовой кости, прямая проекция, увеличение 2. Собака 2514.

Средняя площадь дефектов компактного вещества в виде отверстия составляла $3,11 \pm 0,09 \text{ мм}^2$, в виде полосы - $5,31 \pm 0,33 \text{ мм}^2$. Разницу в $2,3 \text{ мм}^2$ создавала толщина компактного вещества. Для более полного учёта величины костного регенерата планиметрические сопоставления проведены по рентгенограммам в прямой проекции.

Через месяц контуры компактного вещества стали менее отчётливы вследствие наслоений периостальной и эндостальной кости. В прямой проекции, по наружной и внутренней поверхностям, на расстоянии до 3 мм от дефектов компактного вещества, а также в зоне дефектов и по ходу спи-

цевых каналов и в полости диафиза были видны слабые разрозненные тени зон оссификации костного регенерата без отчётливых границ. В боковой проекции дефекты компактного вещества имели вид круглых отверстий диаметром 2 мм, вокруг которых ширина окаймляющей полосы уплотнения увеличилась до 3-х мм.

Через два месяца различия в плотности тени между компактным веществом и зоной полости диафиза значительно уменьшились из-за наслоений периостальной и эндостальной кости (рис. 2, а). В прямой проекции костный регенерат заполнял дефекты компактного вещества и прилежащую часть полости диафиза (рис. 2, с). Его плотность в наружной трети дефекта была меньше, чем на остальном протяжении. В полости диафиза он имел форму треугольника, высотой которого, протяжённостью от $1/3$ до $1/2$ полости, служила прилежащая часть спицевого канала, а основанием, достигающим 8 мм, - эндостальная поверхность с центрально расположенным дефектом компактного вещества. В боковой проекции дефекты компактного вещества были видны как круглые очаги снижения плотности тени диаметром 2 мм (рис. 2, б), которые окружала полоса уплотнения шириной до 4-х мм. Площадь костного регенерата в одном очаге - совокупно в дефекте компактного вещества и полости диафиза, составляла $13,93 \pm 0,32 \text{ мм}^2$ или $1,56 \pm 0,19 \%$ относительно средней площади диафиза большеберцовой кости (таблица 1).



Рис. 2. Рентгенограммы голени. После операции 2 месяца: а) прямая проекция; б) боковая проекция; с) зона туннелизации диафиза большеберцовой кости, прямая проекция, увеличение 7. Собака 2514.

Таблица 1.

Параметры диафиза большеберцовой кости и костного регенерата через 2 месяца после туннелизации на рентгенограммах в прямой проекции

	п	Длина, мм	Ширина, мм	Площадь, мм^2	Площадь, %
Диафиз кости	13	$93,9 \pm 7,81$	$10,8 \pm 0,32$	1049 ± 98	100
Дефект вещества кости	13	$2,07 \pm 0,16$	$2,07 \pm 0,06$	$5,31 \pm 0,33$	$0,51 \pm 0,07$
Очаг регенерации	13	$6,05 \pm 0,04$	$2,79 \pm 0,26$	$13,93 \pm 0,32$	$1,56 \pm 0,19$

Достоверность средних $P < 0,05$

Через три месяца границы компактного вещества были неотчётливы, различия в плотности тени между ним и полостью диафиза ещё более уменьшились из-за периостальных и эндостальных наслоений. В прямой проекции дефекты компактного вещества заполнял костный регенерат, в наружной трети имеющий относительно меньшую плотность тени. В полости диафиза костный регенерат в форме "купола" высотой 1-2 мм и основанием до 8 мм отграничивал каждый дефект компактного вещества. Вследствие различий в плотности тени и особенностей распределения вещества кости наружная и внутренняя границы компактного вещества казались неровными. В боковой проекции дефекты компактного вещества были видны как круглые очаги уменьшения плотности тени, края которых слабо подчёркивала полоса уплотнения шириной до 4-х мм.

Через 4 месяца плотность периостальных и эндостальных наслоений увеличилась настолько, что граница между компактным веществом и полостью диафиза была различима не на всём протяжении (рис. 3, а). В прямой проекции дефекты компактного вещества заполнял костный регенерат, в наружной трети имеющий более низкую плотность тени, а на остальном протяжении - соответствующую таковой компактного вещества. В полости диафиза вещество кости в виде "купола" высотой 1-2 мм и основанием до 8 мм отграничивало каждый дефект компактного вещества (рис. 3, с). В боковой проекции дефекты компактного вещества были видны как круглые очаги с плотностью тени, соответствующей таковой полости диафиза. Очаги выделяла полоса с более высокой плотностью тени шириной до 4 мм (рис. 3, б).

Через 6 месяцев рентгенологическая картина практически не изменилась. При этом контуры компактного вещества стали более отчётливы.

Через 1 и 1,5 года (рис. 4, а) из-за сохранившихся наслоений периостальной и эндостальной кости различия в плотности тени между компактным веществом и полостью диафиза были менее выражены, чем в контроле. В 6 случаях очаги проведения спиц не выявлены вследствие органотипичного заживления дефектов кости. В остальных случаях в прямой проекции зоны дефектов компактного вещества имели в наружной трети более низкую плотность тени, чем на остальном протяжении. В полости диафиза им соответствовали "утолщения" компактного вещества в виде купола высотой 1-2 мм. Из-за различий в плотности и распределении вещества кости границы компактного вещества казались неровными (рис. 4, с). В боковой проекции зоны дефектов компактного вещества были представлены круглыми очагами уменьшения плотности тени без отчётливых границ (рис. 4, б).

По данным РВГ импеданс участка костномозговой полости достоверно уменьшился только через месяц после туннелизации кости (таблица 2). Из этого следует, что в полости диафиза существенных изменений содержания электролита (кровь, отёчная жидкость) не произошло.



Рис. 3. Рентгенограммы голени. После операции 4 месяца: а) прямая проекция; б) боковая проекция; в) зона туннелизации диафиза большеберцовой кости, прямая проекция, увеличение 2. Собака 5213.



Рис. 4. Рентгенограммы голени. После операции 1,5 года: а) прямая проекция; б) боковая проекция; в) зона туннелизации диафиза большеберцовой кости, прямая проекция, увеличение 2. Собака 2506.

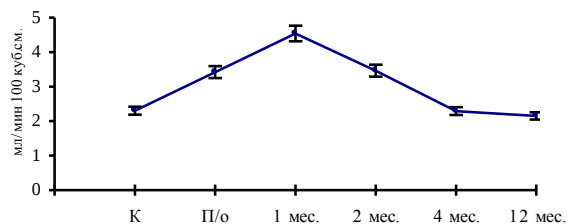


Рис. 5. Диаграмма, период изменений РМПО при заживлении "спицевых" дефектов диафиза большеберцовой кости.

Оперативное вмешательство привело к увеличению РМПО на 49 %. Максимальное увеличение, на 97 %, выявлено через месяц, в период оксификации регенерата. К 4 месяцам величина пульсового кровенаполнения постепенно уменьшилась до контрольных значений и через 6, 12 и 18 месяцев не выходила за пределы диапазона изменений в контроле.

Таблица 2.

Изменения импеданса (Р) и регионарного минутного пульсового объёма (РМПО) в полости диафиза большеберцовой кости

Сроки исследования	п	Р		РМПО		РМПО	
		Ом	%	мл / мин	%	мл/мин · 100 см ³	%
Контроль	13	822±40	100	0,061±0,008	100	2,30±0,041	100
После операции	13	842±39	102	0,097±0,013	159	3,42±0,047	149
1 месяц	7	647±40	79	0,124±0,027	203	4,54±0,084	197
2 месяца	6	802±36	98	0,090±0,008	147	3,46±0,036	150
4 месяца	8	774±46	94	0,064±0,012	104	2,29±0,039	99
12 месяцев	8	862±27	104	0,059±0,008	97	2,15±0,064	93

Различия с контролем и по срокам через 1 месяц $P < 0,05$.

РМПО, различия с контролем и по срокам в течение 4-х месяцев $P < 0,05$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рентгенологические исследования показали, что поперечная туннелизация большеберцовой кости спицей диаметром 1,8 мм приводила к появлению дефектов компактного вещества диаметром 2 мм с разрушением тканей полости диафиза между ними и распределением части костных фрагментов, образующихся при сверлении, по ходу раневого канала.

В зоне дефектов компактного вещества через 30 суток костный регенерат был представлен разрозненными тенями зон оссификации регенерата, через 60 суток - единой тенью с однородной структурой. Затем плотность тени регенерата постепенно достигла соответствия таковой компактного вещества. Активность процессов оссификации преобладала вблизи от эндостальной поверхности, что проявилось через 90 и 120 суток более низкой плотностью тени регенерата со стороны периоста при её соответствии компактному веществу на остальном протяжении дефектов и в полости диафиза. Через 1,5 года в половине случаев со стороны периоста зоны дефектов компактного вещества ещё отличались меньшей плотностью тени.

Реакция надкостницы имела преимущественно распространённый характер. Вследствие наслоений периостально образованного вещества кости различия в плотности тени между компактным веществом и полостью диафиза в течение 4-х месяцев постепенно уменьшались. Образования выраженной периостальной костной мозоли не получено, что, по мнению Krompacher, является признаком стабильной фиксации. Вероятно, наружную треть дефектов компактного вещества заполняло периостально образованное вещество кости, плотность тени которого в 60 % случаев не достигла таковой компактного вещества на протяжении 1,5 лет наблюдения.

В полости диафиза преобладали локальные процессы. Через 30 суток костный регенерат был представлен ещё не слившимися зонами оссификации, через 60 суток имел однородную структуру и форму треугольника, высотой кото-

рого служил спицевой канал, а основанием - эндостальная поверхность с расположенным в центре дефектом компактного вещества. Через 90 суток костный регенерат в области каждого дефекта компактного вещества приобрёл форму купола, имеющего высоту до 2-х мм и основание до 8 мм. Плотность тени вещества кости в области "купола" нарастала наиболее быстро и через 120 суток уже соответствовала таковой компактного вещества.

Очаг регенерации, представленный веществом кости в зоне дефекта компактного вещества и прилежащей части полости диафиза, имел наибольшую площадь через 60 суток фиксации. В последующем его величина постепенно уменьшилась. Через 1,5 года в 50 % случаев зону его расположения можно было определить по локальному снижению плотности тени компактного вещества по периостальной поверхности и "куполу" из новообразованного вещества кости в полости диафиза.

На основании данных литературы [5, 9], рентгенологическая картина и продолжительность заживления дефектов компактного вещества диафиза кости соответствовали задержанному первичному костному сращению. Такой тип сращения характерен для травмы, сопровождающейся локальными разрушениями микроциркуляторной сосудистой сети, в частности, полости диафиза вращающейся спицей.

По данным реовазографии, оперативное вмешательство привело к увеличению пульсового кровенаполнения сосудистого русла полости диафиза. Максимальное увеличение выявлено через месяц, к завершению образования первичной костной мозоли. Затем величина пульсового кровотока постепенно снизилась и, после 4-х месяцев наблюдения достоверно не отличалась от контрольных значений. Продолжительность увеличения пульсового кровенаполнения сосудистого русла костно-мозговой полости полностью соответствовала сроку репаративной регенерации кости в зоне дефектов компактного вещества.

Таким образом, проведение спиц через диафиз кости привело к появлению дефектов компактного вещества, срок заживления которых соответствовал продолжительности изменений кровообращения. Острые дефекты компактного вещества служили причиной увеличения пульсового кровенаполнения сосудистого русла по-

лости диафиза, а процессы образования первичной (провизорной) костной мозоли - его дополнительного увеличения. Выявленные изменения позволяют рекомендовать применение дозированных повреждений диафиза кости в качестве хирургического способа неспецифической временной стимуляции кровообращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1061803 СССР, МКИ³, А 61 В 17/00. Способ лечения хронической ишемии конечности / Г.А.Илизаров (СССР), Ф.Н.Зусманович (СССР). - № 3472493/ 28-13; Заявлено 14.07.82. - Оpubл. 23.12.83. - Бюл. № 47. - С. 22.
2. Виноградова Т.П., Лаврищева Г.И. Регенерация и пересадка костей. - М.: Медицина, 1974. - 247 с.
3. Динамика процессов репаративной регенерации при диафизарных переломах длинных трубчатых костей / А.С. Аврунин, Н.В. Корнилов, А.М. Смирнов и др. // Травматология и ортопедия России. - 1994. - № 2. - С. 111 - 121.
4. Илизаров Г.А., Швед С.И., Мальцева Л.В. О роли костного мозга в консолидации переломов // Травматология и ортопедия России. - 1994. - № 2. - С. 158 - 161.
5. Лаврищева Г.И. и др. Регенерация и кровоснабжение кости / Г.И. Лаврищева, С.П. Карпов, И.С. Бачу. - Кишинёв: Штиинца, 1981. - С. 46 - 57.
6. Оноприенко Г.А. Васкуляризация костей при переломах и дефектах. - М.: Медицина, 1993. - 224 с.
7. Оценка влияния жёсткости фиксации отломков большеберцовой кости при остеосинтезе по Илизарову на кровоснабжение голени / В.И. Шевцов, В.А. Щуров, В.М. Шигарев, Д.В. Долганов // Травматология и ортопедия России. - 1994. - № 2. - С. 87 - 90.
8. Способы стимуляции кровообращения при облитерирующих заболеваниях артерий конечностей: Метод. рекомендации / РНЦ "ВТО"; сост.: В.И. Шевцов, А.А. Ларионов, В.С. Бунов, В.Д. Шатохин. - Курган, 1998. - 19 с.
9. Стецула В.И., Девятков А.А. Чрескостный остеосинтез в травматологии. - Киев: Здоров'я, 1987. - С. 22-72.
10. Фишкин В.И. и др. Регионарная гемодинамика при переломах костей / В.И. Фишкин, С.Е. Львов, В.Е. Удалцов. - М.: Медицина, 1981. - 184 с.
11. Функциональные и лабораторные тесты в интенсивной терапии / Сост.: В.А. Корячкин, В.И. Страшнов, В.Н. Чуфаров, Д.А. Шелухин. - СПб., 1999. - 90 с.
12. Krompecher St. Местный тканевой метаболизм и биологические особенности регенерата кости // Механизмы регенерации костной ткани / Пер. с англ. А.М. Белоуса, Е.Я. Панкова и Ф.Л. Гликлад. - М.: Медицина, 1972. - С. 146 - 165.
13. Tondevold E. Haemodynamics of long bones. An experimental study on dogs // Acta Orthop. Scand. - 1983. - Vol. 54, suppl. 205. - P. 9-48
14. The pattern of distribution of blood flow in dog limb bones measured using microspheres / P. Tothill, G.Hooper, I.D. McCarthy, S.P.F. Hughes // Bone circulation and bone necrosis. - Toulouse, 1989. - P. 114-118.

Рукопись поступила 03.01.01.

Предлагаем вашему вниманию



В.И. Шевцов, В.Д. Макушин, Л.М. Куфтырев

Дефекты костей нижней конечности

Курган: Зауралье, 1996. - 504 с., ил. 413, библиогр. назв. 536.
ISBN 5-87247-072-X. Тв. пер-т. Ф. 29х19,5 см.

В книге с позиций современного управляемого чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова обосновывается этиопатогенез данных патологий, описывается технология остеосинтеза в зависимости от анатомо-функциональной семиотики и патологии, характеризуются возможные тактико-технические и лечебные ошибки и осложнения, способы их предупреждения и устранения, рекомендуется комплекс интенсификации лечебно-реабилитационных мероприятий.