

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2024-4-23-30>

УДК 617.3

© К.И. Новиков, В.И. Шевцов, Е.В. Клинецов, К.И. Жлоба, А.О. Булбанов, 2024

Оригинальная статья / Original article



ВЛИЯНИЕ ОБЪЁМА МЯГКИХ ТКАНЕЙ НА КАЧЕСТВО ДИСТРАКЦИОННОГО КОСТНОГО РЕГЕНЕРАТА ПРИ УДЛИНЕНИИ КОСТЕЙ ГОЛЕНИ ПО ИЛИЗАРОВУ У ПАЦИЕНТОВ С АХОНДРОПАЗИЕЙ (ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

К.И. НОВИКОВ^{1,2}, В.И. ШЕВЦОВ¹, Е.В. КЛИНЦОВ^{1,4}, К.И. ЖЛОБА³, А.О. БУЛБАНОВ⁴

¹ ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, 640014, Курган, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 625023, Тюмень, Россия

³ Жлобинская ЦРБ, 247210, Гомельская область, Республика Беларусь

⁴ БУ Нефтеюганская ОКБ имени В.И.Яцкив, 628307 ХМАО, Россия

Аннотация

Цель работы — исследовать влияние объёма мягких тканей на качественные и количественные рентген-морфометрические показатели дистракционного костного регенерата при удлинении костей голени по Илизарову у пациентов с ахондроплазией.

Материалы и методы. В исследование вошло 10 пациентов с ахондроплазией, которым впервые выполнялось удлинение обеих голеней в Центре Илизарова. Средний возраст составил 7 лет (6-8). Средняя величина удлинения составляла 67 мм (от 58 до 77). Все пациенты оперировались и курировались хирургом-ортопедом со стажем более 10 лет. У всех пациентов остеотомии большеберцовых костей выполнялись на уровне метафизарных зон мининвазивно. "Холостой ход" убирался на 3-и сутки, дистракция начиналась на 4-е сутки, продолжалась со скоростью 1/4 мм каждые 4 часа и далее согласно рентген-изображению.

Результаты и обсуждение. К окончанию фазы дистракции у 2-х пациентов дистракционный регенерат соответствовал II типу по рентген-классификации Ru Li [1], у 3-х — III типу, у 4-х — IV типу (хотя бы в 1-й из проекций), у 1 — V типу. У всех пациентов в первые 2 недели дистракции происходило увеличение объёма регенерата до соответствия I типу по классификации Li с дальнейшей его перестройкой. Максимальное снижение объёма мышц на 1 мм длины от начального составляло 54,6%, минимальное — 18,9% (в среднем 32,4%). Диаметр самого узкого участка дистракционного регенерата (хотя бы в 1 проекции) составлял от 3,3 до 20,9 мм. Всего было выполнено 42 измерения объёма мышц на 1 мм длины, 42 измерения самого узкого участка дистракционного регенерата.

Заключение. Была выявлена статистически значимая (при $n=42$ коэффициент корреляции Спирмена составил 0,420 при $p=0,05$) средне-выраженная связь между объёмом мышц на 1 мм длины и наименьшим диаметром дистракционного регенерата. Производная выражается формулой $y=0,006x+8,3$. Исходя из данного выражения можно рассчитать максимальный желаемый диаметр дистракционного регенерата зная толщину кости на уровне остеотомии и начальный объём мышц на единицу длины для данного сегмента. Также была отмечена тенденция к резкому уменьшению скорости прироста объёма дистракционного регенерата после уменьшения на 22,6% от начального объёма мышечной ткани на 1 мм длины.

Ключевые слова: несостоятельный дистракционный регенерат, кровоснабжение дистракционного регенерата, дистракционный остеосинтез по Илизарову.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Новиков К.И., Шевцов В.И., Клинецов Е.В., Жлоба К.И., Булбанов А.О., ВЛИЯНИЕ ОБЪЁМА МЯГКИХ ТКАНЕЙ НА КАЧЕСТВО ДИСТРАКЦИОННОГО КОСТНОГО РЕГЕНЕРАТА ПРИ УДЛИНЕНИИ КОСТЕЙ ГОЛЕНИ ПО ИЛИЗАРОВУ У ПАЦИЕНТОВ С АХОНДРОПАЗИЕЙ (ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)// Кафедра травматологии и ортопедии. Кафедра травматологии и ортопедии. 2024. № 4(58). С. 23–30 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2024-4-23-30>

Этическая экспертиза. Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала. Исследование одобрено этическим комитетом.

THE INFLUENCE OF SOFT TISSUE VOLUME ON THE QUALITY OF DISTRACTION BONE REGENERATE AT LENGTHENING OF TIBIA BONES ACCORDING TO ILIZAROV IN PATIENTS WITH ACHONDROPLASIA (PILOT STUDY)

KONSTANTIN I. NOVIKOV^{1,2}, VLADIMIR I. SHEVTSOV², EGOR V. KLINTSOV^{1,4}, KIRILL I. ZHLOBA³, ALEXANDER O. BULBANOV⁴

¹National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician G.A. Ilizarov, 640014, Kurgan, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tyumen State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation 625023, Tyumen, Russia

³Zhlobinskaya CRH, 247210, Gomel region, Republic of Belarus

⁴Nefteyugansk V.I. Yatskiv General Hospital, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug, 628307 Russia

Abstract

Rationale: The technique of operative limb lengthening has a severe complication as an insufficient bone regenerate. This complication continues to occur frequently, although the technique of operative lengthening of segments and replacement of bone defects has been used since the middle of the 20th century. **The aim** of the study was to investigate the influence of soft tissue volume on qualitative and quantitative X-ray morphometric indices of distraction bone regenerate during Ilizarov lengthening of the lower leg bones in patients with achondroplasia.

Materials and Methods. The study included 10 patients with achondroplasia who underwent lengthening of both tibiae for the first time in the Ilizarov Center. The average age was 7 years. The average lengthening value was 67 mm. All patients were operated and supervised by an orthopedic surgeon with more than 10 years of experience. In all patients, tibial osteotomies were performed at the level of the metaphyseal zones minimally invasively. Distraction was started on the 4th day and continued at the rate of 1 mm/day.

Results. By the end of the distraction phase in 2 patients the distraction regenerate corresponded to type II according to the Ru Li X-ray classification [1], in 3 patients - to type III, in 4 patients - to type IV (at least in 1 of the projections), in 1 patient - to type V. Regenerate remodeling occurred in all patients. The maximum reduction of the muscle volume per 1 mm of length from the initial one was 32.4% on the average. The diameter of the narrowest part of the distraction regenerate (at least in 1 projection) ranged from 3.3 to 20.9 mm.

Conclusion. A statistically significant (at $n=42$, Spearman's correlation coefficient was 0.420 at $p=0.05$) medium-explicit relationship between muscle volume per 1 mm of length and the smallest diameter of the distraction regenerate was found. The derivative is expressed by the formula $y=0.006x+8.3$. Based on this expression, the minimum desired diameter of the distraction regenerate can be calculated.

Key words: failed distraction regenerate, blood supply of distraction regenerate, Ilizarov distraction osteosynthesis.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Novikov K.I., Shevtsov V.I., Klintsov E.V., Zhloba K.I., Bulbanov A.O., THE INFLUENCE OF SOFT TISSUE VOLUME ON THE QUALITY OF DISTRACTION BONE REGENERATE AT LENGTHENING OF TIBIA BONES ACCORDING TO ILIZAROV IN PATIENTS WITH ACHONDROPLASIA (PILOT STUDY). *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2024 № 4. pp. 23–30 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2024-4-23-30>

Введение

С 1950 года используется методика, разработанная Г.А. Илизаровым, позволяющая удлинить любой сегмент. Но каждое оперативное лечение, к сожалению, имеет определённый риск развития осложнений. К одному из самых тяжёлых относится формирование несостоятельного дистракционного регенерата [2]. Несостоятельным дистракционным регенератом можно считать такой регенерат в фазу консолидации, оптическая плотность и морфологическая форма которого делает невозможной функциональную нагрузку на конечность (иными словами имеется 100% вероятность перелома типа Ia-b по Simpson-Kenwright) [3]. Несмотря на то, что методика дистракционного остеосинтеза используется по всему миру уже более 60-ти лет, в отечественной и зарубежной литературе постоянно публикуются статьи, описывающие данное ослож-

нение [4-6]. На текущий момент уже разработаны методики по „защите“ сформированного несостоятельного регенерата с помощью погружного остеосинтеза а также по увеличению его диаметра с использованием массивной аутооттрансплантации костной ткани [7,8]. Стоит отметить, что данные способы по лечению несостоятельного регенерата не всегда осуществимы, например при наличии гнойно-воспалительных процессов в зоне доступа для погружного остеосинтеза или невозможности интрамедуллярного армирования ввиду крайне малого диаметра регенерата. Поэтому была разработана отечественная малоинвазивная методика увеличения объёма дистракционного регенерата в фазу консолидации [9].

Исходя из всех этих данных авторы ставят вопрос, можно ли по изменению объёма мягких тканей прогнозировать формирование несостоятельного дистракционного регенерата у конкретного пациента, чтобы иметь возможность планиро-

вать количество этапов оперативного лечения, его варианты и обсуждать их с пациентами, т. к., в большинстве случаев больные настаивают на максимально-возможном удлинении за одну оперативную сессию. Часто встречающейся проблемой является некомплаентность пациентов, в результате которой они самостоятельно (без врачебного контроля) преднамеренно превышают допустимую величину удлинения с ожидаемым исходом.

В данной статье демонстрируются первые результаты исследований влияния объёма мягких тканей на качество дистракционного регенерата.

Материалы и методы

Данное исследование проводилось на базе Центра Илизарова. Для первичной обработки из цифрового архива были отобраны истории 10-ти пациентов с ахондроплазией, которым впервые проводилось оперативное удлинение голей. Средний возраст составил 7 лет (от 6 до 8-ми). У 2-х пациентов остеотомия выполнялась на 2-х уровнях, у оставшихся 8-ми — на уровне проксимального метафиза. Удлинение проводилось по методике Илизарова хирургом-ортопедом со стажем работы более 10-ти лет. Во всех случаях не использовались стержни-шурупы для фиксации к кольцам аппарата. Остеотомия проводилась миниинвазивным способом, „холостой ход“ убирался на 3-и сутки после операции, дистракция 1/6 оборота гайки 6 раз в день начиналась с 4-го дня после операции и далее зависела от рентгенологической и клинической картины, полная нагрузка весом разрешалась со второго дня после операции с учётом болевых ощущений. Все случаи наблюдались до фазы консолидации дистракционного регенерата.

У всех пациентов перед планированием оперативного вмешательства выполнялись рентгенограммы обеих ног в положении стоя в 2-х стандартных проекциях для расчёта длины конечностей, проверки РЛУ. Далее рентгенограммы выполнялись на 7-е сутки для контроля расхождения отломков, затем каждые 15 дней до окончания дистракции. В фазу консолидации рентгенография проводилась 1 раз в 30 дней (наблюдалась разбежка в днях назначения контрольных рентгенограмм от 3-х до 10 дней).

Все серии рентгенограмм сохранялись в формате DICOM для обработки на программном обеспечении Hi-Scene, разработанном в Центре Илизарова и прошедшем государственную регистрацию в 2014 году (№2014611777). Так как фокусное расстояние при выполнении рентгенограмм ввиду человеческого фактора каждый раз было разным, для масштабирования первичных рентгенограмм выбирался снимок в послеоперационном периоде (любые 2 проекции, в которых были видны стержни внешнего фиксатора и статичный участок кости). Проводилось измерение длины стержня по количеству насечек резьбы, данная величина позволяла истинно масштабировать снимок, после чего проводились измерения (рис. 1).



Рисунок 1 - способ масштабирования рентгенограммы (в приведённом примере 91 резьбовая насечка, что соответствует 91 мм)

Ввиду того, что жировая ткань и кожа не являются источниками кровоснабжения кости, в отличие от мышц, объём последних и подлежал измерению. Для этого использовалась формула расчёта объёма усечённого овального конуса [интернет-ресурс onlinerechner.de]: измерялся верхний, средний и нижний диаметры в 2-х проекциях на симметричных уровнях, измерялись длины между верхним и средним, средним и нижним диаметрами, после чего выполнялся расчёт объёмов верхнего и нижнего конусов и они суммировались. Далее аналогичным способом рассчитывался объём кости и вычитался из общего объёма (объём малоберцовой кости пренебрегался). Таким образом получался объём только мышечной массы без учёта объёма кости (алгоритм на рисунках 2-4).



Рисунок 2 - измерение диаметров и расстояний между ними в прямой проекции для вычисления объёма мышц

Далее путём деления объёма мышц, выраженного в мм^3 на всю, задействованную в расчётах, длину кости, рассчитывался объём мышц на единицу длины (выражался в $\text{мм}^3/\text{мм}$). Для оценки качества дистракционного регенерата выбраны

2 основных критерия: 1-минимальный диаметр регенерата в одной из проекций, 2- оптическая плотность дистракционного регенерата в стадию консолидации. Оба показателя измерялись при помощи вышеупомянутого ПО HiScene. Статистическая обработка осуществлялась при помощи пакета LibreOffice Calc. Оценка взаимосвязи проводилась при помощи ранговой корреляции Спирмена, т. к. данный метод менее чувствителен к единичным пиковым значениям исследуемых показателей.



Рисунок 3 - измерение диаметров и расстояний между ними в боковой проекции

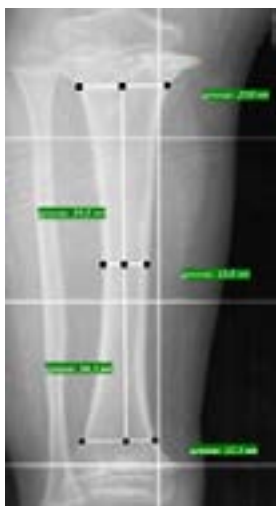


Рисунок 4 - измерение объема кости

Результаты и их обсуждение

Всего было исследовано 10 случаев первичного оперативного удлинения голени у пациентов с ахондроплазией, суммарно проанализировано 52 серии этапных рентгенограмм, выполненных в 2-х стандартных проекциях. Средняя величина удлинения составила 67 мм (от 58 до 77). У всех 10 пациентов происходила перестройка формы дистракционного регенерата. К окончанию

фазы дистракции у 2-х пациентов дистракционный регенерат соответствовал II типу по рентген-классификации Ru Li, у 3-х — III типу, у 4-х — IV типу (хотя бы в 1-й из проекций), у 1 — V типу. В первые 2 недели после оперативного вмешательства у всех пациентов наблюдалось увеличение относительного объема мышц, что связано с отеком мягких тканей после остеотомии.

Рентген-морфометрические данные приведены в таблице 1.

Данные в столбцах слева направо: 1-общий объем мышечной ткани; 2-дни остеосинтеза; 3-объем дистракционного регенерата; 4-наименьший диаметр дистракционного регенерата в одной из проекций за весь период наблюдения; 5-длина участка кости, на котором выполнялось измерение объема мышц; 6-объем мышечной ткани на единицу длины; 7- разница в изменении объема мышц на единицу длины, выраженная в процентах; 8-средняя оптическая плотность дистракционного регенерата на единицу объема регенерата; 9-тип дистракционного регенерата по классификации Ru Li; 10-отношение всей длины кости к её наименьшему диаметру до удлинения (индекс остеостении); 11-скорость дистракции.

Примечание: все измерения длин и объемов указаны в мм. и мм³.

При ранжировании данных объема мягких тканей на единицу длины и наименьшим диаметром дистракционного регенерата критерий Спирмена составляет 0,42 что для 42-х наблюдений указывает на статистически значимую корреляционную зависимость. Функция данной зависимости выглядит как уравнение $y=0,006x+8,3$.

Пример использования данной формулы: на первичных рентгенограммах мы измеряем начальный диаметр кости на уровне планируемой остеотомии (допустим 18 мм) — это минимальное значение „у“ для формирования состоятельного регенерата. Подставляя в формулу получаем $x=(18-8,2)/0.006=1633 \text{ мм/мм}^3$. Далее остаётся в процессе удлинения сегмента не допускать снижения объема мягких тканей меньше расчётного значения.

На практике же данная задача вряд ли осуществима ввиду того, что время адаптации и восстановления мышц значительно превышает время консолидации дистракционного регенерата, к тому же расчёт объема мышц — довольно трудоёмкий процесс, что делает применение его крайне сомнительным. Решением же будет разработка ПО типа СНС (свёрточные нейронные сети), способного по рентгенограммам быстро проводить необходимые расчёты.

Также в полученных результатах можно выявить следующую закономерность: при уменьшении объема мягких тканей, в среднем, на 22%, резко снижается скорость роста объема дистракционного регенерата (со 100-150% до 0-15%). Эти данные могут использоваться в активном мониторинге для коррекции скорости дистракции. Пример из исследования: первый случай, указанный в таблице — начальный объем мышц на единицу длины составлял $1489 \text{ мм}^3/\text{мм}$, далее в течение 20 дней дистракции он существенно не менялся, при этом прирост объема регенерата составлял $4829 \text{ мм}^3 - 10473 \text{ мм}^3 - 21974 \text{ мм}^3$ (прирост

на 100%) . К 50-му дню произошло снижение относительного объёма мышечной ткани до 1129 мм³ (что составляет 75% от первоначального 1489 мм³), при этом объём регенерата составлял 17107 мм³ (скорость прироста объёма отрицательная в сравнении с 2-х кратными приростами в первые 20 дней

дистракции). Далее по всем приведённым примерам скорость прироста объёма регенерата значительно снижалась в той или иной степени при снижении относительного объёма мышц на 22,6% (разброс от 19% до 26%).

Таблица 1

данные рентген-морфометрического анализа пациентов, перенесших удлинение голени по Илизарову

Объём мышц	Дни ОС	Объём регенерата	Диаметр самого тонкого участка регенерата	Вся длина сегмента	Относительный объём мышечной ткани	Динамика изменения относительного объёма	Средняя плотность/ объём регенерата	Тип формы регенерата по Li	Индекс остеопении	Скорость дистракции
276385	0	0	0	111	1489	0		0	11.7	0
185838	10	4829	22.5	123.7	1502	-65.71	0.17	1		1.27
208587	22	10473	22.6	134.2	1554	3.35	0.08	1		0.88
190227	50	21974	20	168.4	1129	-37.64	0.04	2		1.22
272733	158	17107	15.4	169	1613	30.01		3		0.01
206473	0	0	0	114	1811	0	0	0	7.1	0
307107	8	5256	20	128	2399	24.51	0.16	2		1.75
243201	26	15515	22	150.6	1614	-48.64	0.06	1		1.26
323500	51	37898	23	183	1767	8.66	0.02	1		1.3
280242	80	30256	17	191	1467	-20.45	0.03	2		0.28
239119	121	18351	14	191	1251	-17.27	0.05	4		0
139890	0	0	0	75.7	1447	0		0	8.59	0
141556	9	4599	16.6	92.3	1533	-20.48	0.18	1		1.84
152708	44	10616	15.1	142.6	1070	-43.27	0.09	4		1.44
176561	59	8899	11.7	142.8	1236	13.43	0.11	4		0.01
146056	0	0	0	81.6	1789	0		0	8.15	0
176816	12	7036	14.5	102.4	1726	-3.65	0.12	1		1.73
243223	30	16537	19.1	133.7	1819	5.11	0.05	2		1.74
246110	47	15989	13.1	157.2	1565	-16.23	0.06	4		1.38
207855	95	10556	6.2	154.4	1346	-16.27	0.1	4		-0.06
175884	0	0	0	104.8	1678	0		0	9.68	0
197785	15	5255	15.4	119.8	1650	-1.7	0.17	1		1
186604	35	11114	19.3	137.1	1361	-21.23	0.08	3		0.87
216964	52	12262	14.6	149.3	1453	6.33	0.1	4		0.72
241640	134	12202	14.9	163.6	1477	1.62	0.1	4		0.17
150061	0	0	0	87.8	1709	0		0	10.26	0
162834	10	4527	18.2	100	1628	-4.98	0.18	1		1.22
152122	29	8568	20.3	107.9	1409	-15.54	0.1	2		0.42
155424	47	11435	19.3	121.2	1282	-9.91	0.08	2		0.74
198545	66	25962	19.4	146.5	1355	5.39	0.04	2		1.33

Продолжение Таблицы 1

134857	0	0	0	100.9	1336	0		0	10.03	0
148063	15	3671	15.4	115.8	1278	-4.54	0.25	1		0.99
158655	30	8426	15.4	133.4	1189	-7.49	0.11	2		1.17
176309	45	11019	16.5	153.2	1150	-3.39	0.09	2		1.32
170481	66	11954	13.8	159.2	1070	-7.48	0.08	2		0.29
147315	0	0	0	103.2	1427	0		0	10.99	0
187967	6	3144	18.7	114	1648	13.41	0.24	1		1.8
133629	20	7894	18.9	125.9	1061	-55.33	0.07	1		0.85
164123	34	10752	16.6	144	1139	6.85	0.07	3		1.29
147077	55	12443	13.1	168	875	-30.17	0.07	3		1.14
140688	109	10437	9.8	173.9	809	-8.16	0.1	3		0.11
198593	144	10446	3.3	173.9	1141	29.1	0.1	5		0
164468	0	0	0	103.6	1587	0		0	9.13	0
230265	21	4700	25.3	129.2	1782	10.94	0.18	1		1.22
167342	35	16167	20.4	142	1178	-51.27	0.05	2		0.91
211734	55	22821	20.1	164.6	1286	8.4	0.04	3		1.13
294748	67	32168	20.9	175.9	1675	23.22	0.03	3		0.94
197746	0	0	0	110.9	1583	0		0	9.24	0
178443	9	4417	16.3	121.3	1471	-21.21	0.19	1		1.16
245613	29	21980	21.9	146	1682	12.54	0.04	2		1.24
205597	52	23996	20	166.3	1236	-36.08	0.04	3		0.88
195222	81	26313	17.5	178.4	1094	-12.98	0.04	3		0.42
250902	113	26695	17.6	187.5	1338	18.24	0.04	3		0.28

Также не было выявлено какой-либо взаимосвязи между объёмом дистракционного регенерата и средней оптической плотностью в долгосрочном периоде, т. к. в 100% случаев оптическая плотность регенерата превышала ОП материнских участков кости. На рисунке 5 представлена рентгенограмма одного из обследованных пациентов через 3 месяца после окончания дистракции, обработанная в программе Hi-Scene.

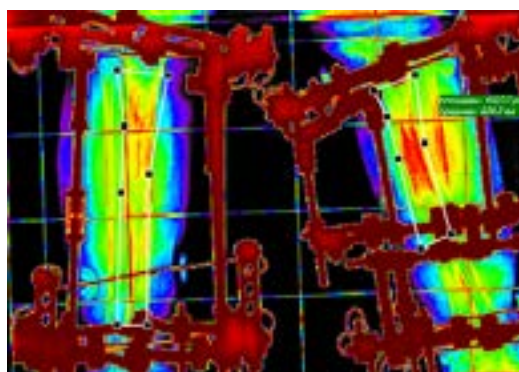


Рисунок 5 — оптическая плотность дистракционного регенерата на 3-й месяц фиксации

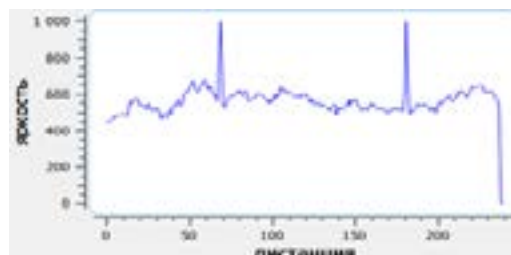


Рисунок 6 - срез оптической плотности регенерата справа

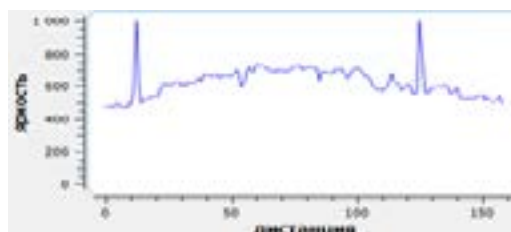


Рисунок 7 - срез оптической плотности регенерата левой голени

На рисунках 6,7 представлены срезы оптической интенсивности на выделенных участках (по 2 пика на каждом графике

соответствуют белым линиям масштабной сетки рентгенограммы). Участки на графиках на дистанции 50-100, соответствующие зоне distractionного регенерата, имеют более высокие показатели оптической плотности (500-600 ед), чем смежные с ними участки материнской кости (420-500 ед).

При проверке наличия статистически значимой связи между индексом остеостени и 1- минимальным объёмом distractionного регенерата, 2-максимальным снижением объёма мышечной ткани показатели составили 0,018 и 0,26 соответственно, что указывает на отсутствие связи.

Также вычислялось отношение индекса остеостени к абсолютному показателю удлинения и проверялось наличие связи между полученными значениями и типом регенерата по рентген-классификации Li. Индекс составил 0,464, что для выборки в 10 единиц наблюдения является недостаточным, но заслуживает подробного изучения в дальнейших исследованиях.

Важным считаем отметить, что в 2х единственных случаях, когда конечная форма distractionного регенерата соответствовала II типу по Li, относительная оптическая плотность на единицу объёма регенерата составляла 0,1 ед/мм³ и более.

Выводы

Для пациентов с ахондроплазией в возрастной категории 7-8 лет существует корреляционная связь между объёмом мышечной ткани на единицу длины и наименьшим диаметром distractionного регенерата при переходе к фазе фиксации, что заслуживает дальнейшего изучения в других возрастных группах. В момент уменьшения объёма мягких тканей на 22,6% от начального начинается резкое снижение скорости роста объёма distractionного регенерата, что должно учитываться при послеоперационном ведении (с этого целесообразным является применение всевозможных способов стимуляции distractionного регенерата [10]). Большие объёмы исследуемых данных ставят необходимым создание в последующем нейронных сетей, способных в процессе удлинения сегмента оценивать состояние distractionного регенерата по множеству параметров.

Список литературы / References:

1. Li R, Saleh M, Yang L, Coulton L. Radiographic classification of osteogenesis during bone distraction. J Orthop Res. 2006 Mar;24(3):339-47. doi: 10.1002/jor.20026. PMID: 16479566.
2. Несостоятельный distractionный регенерат как осложнение distractionного остеосинтеза: факторы риска формирования, превентивная диагностика, лечение / К. И. Новиков, Е. В. Клинов, О. В. Климов, К. С. Сергеев // Гений ортопедии. 2024;30(1):134-141. – DOI 10.18019/1028-4427-2024-30-1-134-141. – EDN EZRBEC. [Nesostoyatel'nyi distraktsionnyi regenerat kak oslozhenie distraktsionnogo osteosinteza: faktory riska formirovaniya, preventivnaya diagnostika, lechenie / K. I. Novikov, E. V. Klintsov, O. V. Klimov, K. S. Sergeev // Genii

ortopedii. 2024;30(1):134-141. – DOI 10.18019/1028-4427-2024-30-1-134-141. – EDN EZRBEC.]

3. Simpson A.H., Kenwright J. Fracture following lower limb lengthening in children: A series of 58 patients Orthop. Traumatol. // Surg Res 2013;72:9. DOI: 10.1016/j.otsr.2012.08.005.

4. Borzunov DY, Shastov AL. Mechanical solutions to salvage failed distraction osteogenesis in large bone defect management. Int Orthop 2019;43(5):1051-1059. DOI: 10.1007/s00264-018-4032-6.

5. Fracture following lower limb lengthening in children: A series of 58 patients / F.Launay, R. Younsi, M. Pithioux, P. Chabrand, G. Bollini, J.-L. Jouve // J. Bone Joint Surg. Br. 2009;91(12):1612-7. DOI: 10.1302/0301-620X.91B12.22418.

6. Insufficient Bone Regenerate after Intramedullary Femoral Lengthening / M. Kenaway, Ch. Krettek, E. Liodakis, R. Meller, S. Hankemeier // Clin. Orthop. Relat. Res. 2011;469(1):264-273. DOI:10.1007/s11999-010-1332-6. Epub 2010 Apr 2

7. Prophylactic titanium elastic nailing (TEN) following femoral lengthening (Lengthening then rodding) with one or two nails reduces the risk for secondary interventions after regenerate fractures: A cohort study in monolateral vs. bilateral lengthening procedures / F. Schiedel, U. Elsner, G. Gosheger, B. Vogt, R. Rödl // BMC Musculoskeletal Disorders 2013;14:302. DOI:10.1186/1471-2474-14-302.

8. Limb Lengthening in Patients with Achondroplasia / Kwang-Won Park, Rey-an Niño Garcia, Chastity Amor Rejuso, Jung-Woo Choi, Hae-Ryong Song Yonsei // Med. J. 2015;56(6):1656-1662. DOI:10.3349/ymj.2015.56.6.1656.

9. Новиков, К. И. Лечение по Илизарову осложнений билатерального удлинения бедренных костей у пациента с ахондроплазией / К. И. Новиков, Е. В. Клинов, О. С. Новикова // Медицинская наука и образование Урала. 2023;24(116):188-192. DOI 10.36361/18148999_2023_24_4_188. – EDN UXKRVI. [Novikov, K. I. Lechenie po Ilizarovu oslozhenii bilateral'nogo udlineniya bedrennykh kostei u patsienta s akhondroplaziei / K. I. Novikov, E. V. Klintsov, O. S. Novikova // Meditsinskaya nauka i obrazovanie Urala. 2023;24(116):188-192. DOI 10.36361/18148999_2023_24_4_188. – EDN UXKRVI.]

10. Шевцов В.И., Леончук С.С. Стимуляция distractionного остеогенеза при удлинении конечностей: наша концепция // Травматология и ортопедия России. 2020;1:75-85. DOI: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-75-85. [Shevtsov V.I., Leonchuk S.S. Stimulyatsiya distraktsionnogo osteogeneza pri udlinenii konechnostei: nasha kontseptsiya // Travmatologiya i ortopediya Rossii. 2020;1:75-85. DOI: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-75-85.]

Авторы

Константин Игорьевич Новиков – доктор медицинских наук, kinovikov@mail.ru

Владимир Иванович Шевцов. – член корр. РАН, доктор медицинских наук, профессор, shevtcovvladimir3012@rambler.ru (ORCID 0000-0001-7051-8065)

Клинов Егор Владимирович — аспирант, врач-травматолог-ортопед, e.rubisco@mail.ru (ORCID 0009-0002-6815-7162)

Жлоба Кирилл Ильич — аспирант, врач-травматолог-ортопед (ORCID 0009-0006-4804-248X)

Булбанов Александр Остапович — врач-травматолог-ортопед, заведующий отделением, bulbanovao@nokb.ru

Автор, ответственный за переписку: Клинецов Е.В., e.rubisco@mail.ru

A u t h o r s

Konstantin I. Novikov — Professor, Doctor of Medicine, orthopedic surgeon, National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician G.A. Ilizarov, Kurgan, st. M. Ulyanova, 6, Russia. e.mail: kinovikov@mail.ru

Vladimir I. Shevtsov — corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Medicine, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tyumen State Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tyumen, Odesskaya Street 54, Russia, e.mail: shevtcovvladimir3012@rambler.ru

Egor V. Klintsov — orthopedic surgeon, postgraduate student National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician G.A. Ilizarov, Kurgan, st. M. Ulyanova, 6, Russia, e.mail: e.rubisco@mail.ru

Kirill I. Zhloba — orthopedic surgeon, Zhlobinskaya CRH, Zhlobin, Vorovskogo street 1, Gomel region, Republic of Belarus

Alexander O. Bulbanov — orthopedic surgeon, head of department, Nefteyugansk V.I. Yatskiv General Hospital, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug, 7th microdistrict 13 building, Russia, bulbanovao@nokb.ru

Corresponding author: Egor V. Klintsov, e.rubisco@mail.ru