

АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ РЕГЕНЕРАТА В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УДЛИНЕНИЯ ГОЛЕНИ С ПОВЫШЕННЫМ ТЕМПОМ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ НАРУШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ КОСТИ

Горбач Е.Н.¹, Горбач Е.С.², Кононович Н.А.¹, Попков А.В.¹

¹ФГБУ «РНЦ» ВТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, e-mail: gorbach.e@mail.ru;

²ЮУГМУ Минздрава России, Челябинск

Проведен сравнительный анализ оптической плотности различных зон distractionных регенератов большеберцовых костей 14 взрослых беспородных собак в возрасте 1-3 года на этапах автоматического удлинения голени по Илизарову с темпом 3 мм в сутки при предварительном повреждении кости путем флекссионной остеоклазии (I серия) и косой остеотомии (II серия). В результате исследования выявлено, что повреждение целостности кости путем косой остеотомии способствует более активному остеогенезу в период distraction и наступлению опороспособности конечности уже через 14 суток после демонтажа аппарата, что сокращает аппаратный период на 16% по сравнению с серией, где применялась флекссионная остеоклазия. При этом через 30 суток безаппаратного периода сохраняются признаки незаконченной органотипической перестройки новообразованного участка диафиза, особенно выраженные во II серии. При значениях оптической плотности distractionного регенерата в области интермедиарной и эндостальной зон с двух и более поверхностей более 0,5 усл. ед., а в остальных - не менее 0,33 усл. ед., отмечено наступление опороспособности регенерата в обеих сериях. Полученные значения могут являться критериями для демонтажа аппарата.

Ключевые слова: флекссионная остеоклазия, косая остеотомия, чрескостный distractionный остеосинтез, автодистрактор, большеберцовая кость, регенерат, оптическая плотность.

ANALYSIS OF THE REGENERATED BONE OPTICAL DENSITY UNDER THE LEG AUTOMATIC LENGTHENING WITH THE INCREASED RATE IN CASE OF DIFFERENT TYPES OF BONE INTEGRITY BREAK

Gorbach E.N.¹, Gorbach E.S.², Kononovich N.A.¹, Popkov A.V.¹

¹FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Kurgan, e-mail: gorbach.e@mail.ru;

²FSBEI HE South Ural State Medical University Academy of the RF Ministry of Health, Chelyabinsk

The authors made a comparative analysis of the optical density of distraction tibial regenerated bone different zones in 14 mongrel adult dogs at the stages of the leg automatic lengthening according to Ilizarov at the rate of 3 mm per day when the bone was preliminarily broken by flexion osteoclasia (Series I) and oblique osteotomy (Series II). As it was revealed, the bone integrity break by oblique osteotomy contributed to more active osteogenesis in distraction period, as well as to limb weight-bearing onset already 14 days after the fixator dismounting, thereby 16% reducing the period with the fixator in situ comparing with flexion osteoclasia using. In this case the signs of incomplete organotypical reorganization of the newly formed shaft part were maintained after 30 days of the period free of fixator. When the values of optical density of the distraction regenerated bone in the intermediary and endosteal zones for two and more surfaces were above 0.5 standard units, and those in the remaining – not less than 0.33 standard units, the onset of the regenerated bone weight-bearing in the both series was observed. The values obtained can be criteria for the fixator dismounting.

Keywords: flexion osteoclasia, oblique osteotomy, transosseous distraction osteosynthesis, automated distractor, tibial bone, regenerat, optical density

Сокращение аппаратного периода при удлинении конечности методом distractionного остеосинтеза остается одной из актуальных задач современной травматологии и ортопедии. Одним из вариантов решения этой проблемы является повышение суточного темпа удлинения. Известно, что удлинение голени с темпом 3 мм в высокорезультативном режиме может сократить аппаратный период до 30% [1]. Армирование в обозначенных условиях регенерата внутрикостными эластичными стержнями позволяет

сократить период фиксации конечности в аппарате до двух недель [2]. Однако данная методика в ряде случаев требует повторного оперативного вмешательства, связанного с удалением армирующих элементов. Для коррекции деформации костей и при удлинении конечностей некоторые хирурги применяют косую остеотомию [3].

Есть данные, что такой способ повреждения кости может способствовать более быстрому замещению диастаза костной тканью при устранении деформаций длинных костей и при удлинении конечностей [4-6]. Основным методом контроля течения регенераторного процесса удлиняемой кости является рентгенологическое обследование, которое многократно повторяется в период лечения [7]. В последнее время появилась возможность получения дополнительных знаний путем количественного анализа цифровых изображений рентгенограмм на рабочем месте врача ортопеда-травматолога [8].

Учитывая, что плотность регенерата зависит от степени его минерализации, одним из объективных критериев оценки состояния костной ткани является оптическая плотность - важнейший диагностический признак, который позволяет прогнозировать течение заболевания и контролировать эффективность лечения [9].

Цель исследования – провести сравнительный анализ оптической плотности цифровых изображений рентгенограмм дистракционных регенератов на этапах автоматического удлинения голени с темпом 3 мм в сутки.

Материал и методы исследования. Исследование выполнено на 14 взрослых беспородных собаках в возрасте 1-3 года, массой от $24 \pm 3,1$ кг, с длиной голени в среднем $18,6 \pm 1,3$ см, которым в условиях операционной на голень монтировали аппарат Илизарова и нарушали целостность кости: в I серии - путем флексионной остеоклазии на уровне средней трети, во II серии – путем косой остеотомии. Затем в течение 10 суток осуществляли удлинение голени методом чрескостного дистракционного остеосинтеза с использованием автоматических приводов с суточным темпом 3 мм со 120-кратной дробностью. Величина удлинения составила $15,7 \pm 1,3\%$.

Эксперимент на животных (содержание, операции и эвтаназию) осуществляли согласно «Правилам проведения работ с использованием экспериментальных животных», утвержденных Приказом МЗ СССР No 755 от 12 августа 1977 г., а также «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях».

Исследование по определению оптической плотности выполняли на оцифрованных рентгенограммах, сделанных через 10 суток дистракции, по окончании периода фиксации (срок фиксации в I серии составил 30 суток, во II – 15 суток в связи с наступлением опороспособности регенерата) и через 30 суток после демонтажа аппарата.

Рентгенографические снимки оперированных голеней животных выполняли однотипно в прямой и боковой проекциях с использованием рентгеновского аппарата «VER X Technology Premium VET» (Испания). Оцифровку рентгенограмм осуществляли путем их сканирования с помощью сканера серии «hp scanjet 7400c» (Hewlett Packard, Калифорния), а затем сохраняли в памяти компьютера.

Интенсивность (I_i) теней различных участков регенерата оценивали в программе Ni – scene, предназначенной для чтения и компьютерной обработки цифровых результатов рентгенологического исследования [10]. Измерения I_i на этапе дистракции проводили в периостальной, эндостальной и интермедиарной областях регенерата с передней, задней, латеральной и медиальной поверхностей в проксимальном и дистальном костных отломках, проксимальном и дистальном костных отделах и в зоне соединительнотканной прослойки (рис. 1). В последующие периоды эксперимента интенсивность теней измеряли в проекции аналогичных участков регенерата. Далее рассчитывали оптическую плотность по формуле $OD_i = \lg((I_i - I_m)/I_0)$, где I_i – интенсивность i -го элемента изображения, I_m – средняя интенсивность тени мягких тканей, I_0 – средняя интенсивность фона. Статистическую обработку выполняли в программе Attestat, версия 1.0 [11]. Достоверность различий оценивали методами вариационной и непараметрической статистики в зависимости от характера распределения выборок использовали критерий Вилкоксона или критерий Стьюдента.

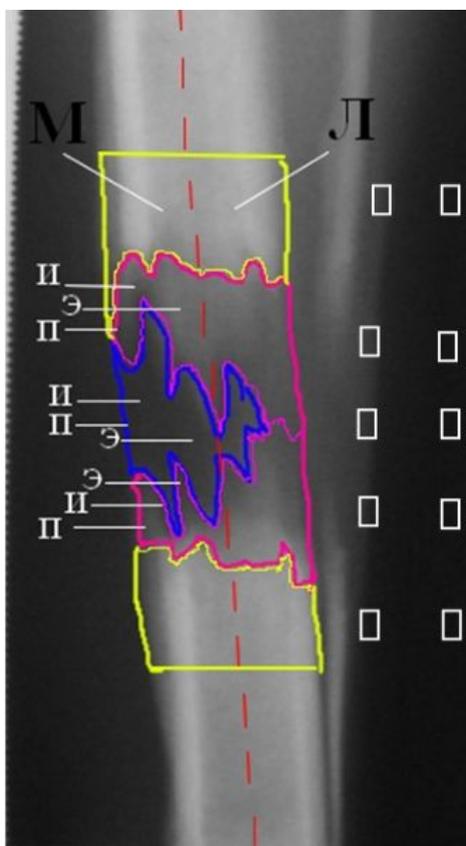


Схема измерения оптической плотности теней в различных участках distractionного регенерата. М - медиальная поверхность. Л – латеральная поверхность. Желтый контур в верхней части – проксимальный костный отломок, в нижней – дистальный костный отломок. Розовый контур в верхней части – проксимальный костный отдел, в нижней – дистальный костный отдел. Синий контур – зона соединительнотканной прослойки.

П – периостальная область регенерата. И – интермедиарная область регенерата.

Э - эндостальная область регенерата

Результаты и обсуждение

Выявлено, что через 10 суток distraction у животных 2 серии оптическая плотность костных отломков уменьшалась по сравнению с первой на 12-18%, за исключением задней поверхности, где она практически не изменялась (табл. 1). В проксимальном костном отделе у животных II серии со стороны медиальной поверхности в эндостальной и интермедиарной зонах значения OD были на 8 и 20% меньше, чем в I серии. С передней поверхности - напротив, превышали показатели у животных с флексионной остеоклазией во всех зонах в 2,5-3 раза, а с задней - в 2-3,7 раза. В дистальном костном отделе показатели OD в 1,43 раза превышали аналогичные значения I серии только в интермедиарной зоне с латеральной поверхности. В области эндоста и периостальной поверхности достоверных отличий не выявлено.

При анализе аналогичных зон с медиальной поверхности отмечено уменьшение оптической плотности на 8-34% относительно животных с флексионной остеоклазией.

Таблица 1

Оптическая плотность в различных участках distractionного регенерата большеберцовой кости через 10 суток distraction

Зоны регенерата		OD(M±m)							
		Область регенерата (относительно исследуемой поверхности)							
		Латеральная		Медиальная		Передняя		Задняя	
		I	II	I	II	I	II	I	II
Проксимальный костный отломок		0,76±0,031 *	0,66±0,022 *	0,74±0,032 *	0,61±0,021 *	0,67±0,030 *	0,56±0,019 *	0,68±0,024 ***	0,67±0,027 ***
Дистальный костный отломок		0,73±0,029 *	0,62±0,023 *	0,74±0,036 *	0,60±0,031 *	0,61±0,029 ***	0,61±0,021 ***	0,60±0,026 **	0,64±0,024 **
Проксимальный костный отдел	Периостальная область	0,51±0,017 *	0,43±0,014 *	0,34±0,011 ***	0,33±0,013 ***	0,17±0,006 *	0,35±0,011 *	0,22±0,010 *	0,54±0,021 *
	Эндостальная область	0,62±0,032 **	0,58±0,030 **	0,54±0,018 **	0,50±0,014 **	0,28±0,011 *	0,43±0,020 *	0,29±0,013 *	0,58±0,022 *
	Интермедиарная область	0,54±0,019 **	0,56±0,017 **	0,64±0,031 *	0,45±0,019 *	0,16±0,006 *	0,56±0,027 *	0,16±0,005 *	0,59±0,016 *
Дистальный костный отдел		0,36±0,007 ***	0,36±0,004 ***	0,47±0,016 *	0,32±0,012 *	0,06±0,001 *	0,45±0,013 *	0,30±0,010 **	0,39±0,011 **

	Эндостальная область	0,51±0,013 **	0,53±0,011 **	0,48±0,012 ***	0,47±0,011 ***	0,16±0,028 *	0,57±0,020 *	0,14±0,005 *	0,49±0,017 *
	Интермедиарная область	0,36±0,011 *	0,50±0,021 *	0,54±0,018 *	0,45±0,009 *	0,05±0,002 *	0,58±0,025 *	0,18±0,006 *	0,57±0,026 *
Срединная соединительнотканная прослойка	Периостальная область	0,47±0,013 *	0,37±0,016 *	0* *	0,17±0,002 *	0,01±0,000 4*	0,35±0,013 *	0,09±0,002 *	0,41±0,015 *
	Эндостальная область	0,46±0,021 ***	0,45±0,020 ***	0,25±0,01* *	0,47±0,017 *	0,01±0,000 4*	0,49±0,019 *	0,04±0,001 *	0,57±0,025* *
	Интермедиарная область	0,45±0,019 **	0,47±0,021 **	0 *	0,35±0,015 *	0* *	0,53±0,023 *	0,14±0,005 *	0,57±0,021 *

* - при $p < 0,01$ – различия достоверны по сравнению с животными другой серии;

** - при $p < 0,05$ – различия достоверны по сравнению с животными другой серии;

*** - при $p \geq 0,05$ – различия недостоверны по сравнению с животными другой серии.

С передней и задней поверхностями OD животных II серии увеличивалось во всех зонах в 2-7 раз. Минимальные показатели OD у животных обеих групп отмечены в зоне соединительнотканной прослойки. Причем с латеральной поверхности значения обеих групп были идентичными во всех зонах регенерата. В остальных участках значения II группы были больше в 1,5-5 раз, чем в I.

К окончанию периода фиксации сохранялось уменьшение OD в области костных отломков и всех зон регенерата с медиальной и латеральной поверхностей во II серии в пределах 10-23% по сравнению с животными I серии (табл. 2). Во всех остальных зонах со стороны передней и задней поверхностей значения либо не имели достоверных отличий, либо в 1,2-1,4 раза были больше у животных II серии. Наибольшее увеличение показателей у животных II серии отмечались в области периоста.

Таблица 2

Оптическая плотность в различных участках distractionного регенерата большеберцовой кости по окончании периода фиксации

Зоны регенерата		OD (M±m)							
		Область регенерата (относительно исследуемой поверхности)							
		Латеральная		Медиальная		Передняя		Задняя	
		I	II	I	II	I	II	I	II
Проксимальный костный отломок		0,62±0,027 **+	0,58±0,021 **+	0,63±0,023 *+	0,49±0,018 *+	0,75±0,031 *+	0,61±0,023 *++	0,68±0,021 ***++	0,65±0,022 ***++
Дистальный костный отломок		0,51±0,021 *+	0,61±0,029 *+	0,60±0,022 *	0,48±0,021 *+	0,72±0,029 *+	0,54±0,022 *+	0,61±0,021 ***++	0,63±0,024 ***++
Проксимальный костный отдел	Периостальная область	0,40±0,013 **+	0,31±0,014 **+	0,32±0,012 *+++	0,08±0,001 *+	0,67±0,031 **+	0,41±0,012 **+	0,12±0,005 *+	0,27±0,007 *+
	Эндостальная область	0,55±0,015 *++	0,48±0,011 *+	0,53±0,019 *+++	0,40±0,014 *+	0,56±0,017 **+	0,50±0,014 **+	0,50±0,016 **+	0,59±0,022 ***++
	Интермедиарная область	0,53±0,017 ***++	0,55±0,019 ***++	0,48±0,014 *+	0,43±0,011 *+++	0,60±0,028 *+	0,54±0,018 *+++	0,48±0,012 *+	0,60±0,029 *+++
Дистальный костный отдел	Периостальная область	0,21±0,002 **+	0,30±0,011 **++	0,30±0,013 **+	0,24±0,008 **+	0,38±0,015 **+	0,30±0,013 **+	0,07±0,002 *+	0,41±0,015 *+
	Эндостальная область	0,49±0,015 ***++	0,55±0,020 ***++	0,49±0,016 *+++	0,41±0,014 *++	0,49±0,013 ***+	0,49±0,023 ***+	0,47±0,021 **+	0,57±0,022 **+
	Интермедиарная область	0,45±0,016 *+	0,55±0,021 *+	0,42±0,015 ***+	0,40±0,014 ***+	0,64±0,031 *+	0,52±0,017 *+	0,36±0,013 *	0,59±0,023 *+++
Срединная соединительнотканная	Периостальная область	0,35±0,011 **+	0,31±0,014 **+	0,22±0,005 *+	0,13±0,003 *++	0,51±0,017 **+	0,41±0,019 **+	0,21±0,005 **+	0,28±0,011 **+

прослойка	Эндостальная область	0,56±0,019 *+	0,48±0,017 *++	0,54±0,013 *+	0,35±0,011 *+	0,56±0,023 **+	0,50±0,013 **+++	0,54±0,025 **+	0,57±0,024 **+
	Интермедиарная область	0,51±0,015 ***+	0,51±0,018 ***+	0,46±0,012 *++	0,33±0,011 *++	0,70±0,034 *++	0,54±0,021 *+++	0,45±0,014 *+	0,59±0,027 *+++

* - при $p < 0,01$ - различия достоверны по сравнению с животными другой серии;
 ** - при $p < 0,05$ - различия достоверны по сравнению с животными другой серии;
 *** - при $p \geq 0,05$ - различия недостоверны по сравнению с животными другой серии;
 + - при $p < 0,01$ - различия достоверны по сравнению с периодом distraction;
 ++ - при $p < 0,05$ - различия достоверны по сравнению с периодом distraction;
 +++ - при $p \geq 0,05$ - различия недостоверны по сравнению с периодом distraction.

Через месяц после демонтажа аппарата показатели OD во II серии на уровне костных отломков с латеральной и задней поверхностями приближались к показателям животных I серии. А со стороны медиальной и передней поверхностей оставались на 10-17% ниже, чем в отломках в I серии (табл. 3).

У животных обеих серий уменьшалась оптическая плотность в области периоста и эндоста и увеличивалась - в области интермедиарного пространства, что свидетельствовало о приобретении органоспецифического строения в новообразованном участке кости в данный период. При этом в интермедиарной зоне у животных II серии OD была снижена всего на 6-8% в проекции костных отделов и на 20-40% в проекции соединительнотканной прослойки. В области периоста в дистальном костном отделе и в проекции прослойки значения, напротив, со стороны медиальной поверхности оставались повышенными относительно животных I серии в 1,4-1,7 раза.

Таблица 3

Оптическая плотность в различных участках distractionного регенерата большеберцовой кости через 30 суток после демонтажа аппарата

Зоны регенерата		OD (M±m)							
		Область регенерата (относительно исследуемой поверхности)							
		Латеральная		Медиальная		Передняя		Задняя	
		I	II	I	II	I	II	I	II
Проксимальный костный отломок		0,62±0,025 ***+++	0,62±0,028 ***+++	0,63±0,025 *+++	0,47±0,018 *+++	0,70±0,033 *+++	0,56±0,023 *++	0,66±0,029 ***+++	0,61±0,027 ***+++
Дистальный костный отломок		0,56±0,026 ***++	0,56±0,017 ***++	0,61±0,028 *+++	0,55±0,021 *+	0,69±0,031 *+++	0,58±0,027 *+++	0,60±0,023 ***+++	0,57±0,024 **++
Проксимальный костный отдел	Периостальная область	0,37±0,011* ++	0,19±0,007 *++	0,19±0,006 *+	0,09±0,003 *++	0,35±0,012 *+	0,22±0,008 *+	0,27±0,010 ***+	0,23±0,006 ***+
	Эндостальная область	0,58±0,026 **+++	0,52±0,021 **+	0,48±0,019 *+	0,36±0,011 *+	0,54±0,018 *++	0,47±0,011 *++	0,50±0,013 ***+++	0,55±0,012 ***+++
	Интермедиарная область	0,57±0,025 **++	0,49±0,023 **+	0,50±0,022 ***+++	0,48±0,020 ***+++	0,68±0,013 ***+	0,45±0,010 ***+	0,58±0,019 **+	0,53±0,015 **+
Дистальный костный отдел	Периостальная область	0,15±0,006 *	0,26±0,011 *	0,1±0,004 *	0,30±0,003 *	0,50±0,017 *	0,22±0,013 *	0,21±0,009 **	0,29±0,011 **
	Эндостальная область	0,54±0,021* **	0,51±0,019 ***	0,53±0,024 *	0,35±0,015 *	0,54±0,013 ***	0,57±0,017 ***	0,53±0,015 ***	0,55±0,017 ***
	Интермедиарная область	0,49±0,021 ***	0,49±0,019 ***	0,46±0,013 **	0,41±0,009 **	0,68±0,027 *	0,53±0,013 *	0,54±0,019 **	0,50±0,012 **
Средняя		0,30±0,011	0,27±0,006	0,26±0,004	0,36±0,001	0,28±0,006	0,21±0,004	0,26±0,008	0,25±0,003

соединительнотканная прослойка	область	***++	***+	*++	0 **+	**+	**+	***+	***++
	Эндостальная область	0,58±0,024 ***++	0,52±0,016 ***+	0,54±0,018 *++	0,16±0,006 *+	0,57±0,023 ***++	0,55±0,013 ***++	0,52±0,015 ***++	0,43±0,009 **+
	Интермедиарная область	0,55±0,021 *++	0,44±0,011 *+	0,54±0,020 *+	0,27±0,005 *+	0,68±0,029 ***++	0,43±0,011 **+	0,53±0,016 **+	0,38±0,010 **+

* - при $p < 0,01$ - различия достоверны по сравнению с животными другой серии;

** - при $p < 0,05$ - различия достоверны по сравнению с животными другой серии;

*** - при $p \geq 0,05$ - различия недостоверны по сравнению с животными другой серии;

+ - при $p < 0,01$ - различия достоверны по сравнению с периодом фиксации;

++ - при $p < 0,05$ - различия достоверны по сравнению с периодом фиксации;

+++ - при $p \geq 0,05$ - различия недостоверны по сравнению с периодом фиксации.

Полученные результаты показали, что применение косой остеотомии способствует большей минерализации костных отделов и прослойки в периоды distraction и фиксации, в сравнении с применением флексионной остеоклазии, за исключением исследованных зон с медиальной поверхности. Это можно связывать с формированием операционного доступа в данной области и соответственно большего нарушения кровоснабжения в окружающих тканях. В I экспериментальной серии исследования меньшая минерализованность структур регенерата была отмечена в проекции передней поверхности ввиду большей ее травмируемости в результате флексионной остеоклазии.

Xia Lan с соавторами (2013) [12] считают, что хороший результат применения косой остеотомии при удлинении конечности связан с большой площадью контакта костных отломков и лучшей их стабильностью. В других источниках отмечено [13], что косая остеотомия применяется хирургами не часто. Одна из причин – сложность обеспечения необходимой жесткости фиксации в аппарате при коротком костном фрагменте. Тем не менее в литературе встречается опыт ее практического использования с положительным результатом [14; 15]. В нашем варианте мы получили более хорошие результаты на этапах distraction и фиксации в сериях с применением косой остеотомии (серия II), что позволило демонтировать аппарат уже через 14 суток фиксации отломков в аппарате ввиду наступления опороспособности новообразованного участка диафиза.

Показатели оптической плотности в обеих сериях при демонтаже аппарата в интермедиарной и эндостальной зонах регенерата как минимум в проекции 2 поверхностей составляли не менее 0,5 усл. ед., что может служить критерием для определения возможности демонтажа аппарата. При этом минимальные значения OD в проекции двух других поверхностей должны быть не менее 0,33 усл. ед.

Выводы. Таким образом, автоматическое удлинение голени с темпом 3 мм при повреждении целостности кости путем косой остеотомии способствует более активному остеогенезу в период distraction, что приводит к раннему замещению соединительнотканной прослойки костной тканью и наступлению опороспособности

конечности уже через 14 суток после демонтажа аппарата, сокращая аппаратный период на 16% по сравнению с применением флексионной остеоклазии. При этом через 30 суток безаппаратного периода сохраняются признаки незаконченной органотипической перестройки новообразованного участка диафиза. При значениях оптической плотности дистракционного регенерата в области интермедиарной и эндостальной зон с двух и более поверхностей больше 0,5 усл. ед., а в остальных - не менее 0,33 усл. ед, в обеих сериях отмечено наступление опороспособности регенерата. Полученные значения могут являться критериями для демонтажа аппарата.

Список литературы

1. Горбач Е.Н., Степанов М.А. Особенности морфогенеза костной ткани при удлинении голени методом чрескостного дистракционного остеосинтеза при повышенном суточном темпе // Морфология. - 2015. - Т. 147. - № 2. - С. 69-74.
2. Новая технология удлинения конечности роботизированным дистрактором (доклиническое испытание) / А.В. Попков и др. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - № 9-1. - С. 74-77.
3. Уравнивание длины нижних конечностей – исторические ракурсы и современные тенденции / О.А. Соколовский и др. // Медицинские новости. - 2011. - № 7. - С. 11-19.
4. Сахно Н.В. Реактивность организма в зависимости от площади перелома трубчатых костей // Ветеринарная патология. - 2008. - № 2. - С. 97-101.
5. Закрытый монолокальный дистракционный остеосинтез - актуальное направление в реабилитации при лечении диафизарных дефектов большеберцовой кости голени / Киселев В.Я. и др. // Аллергология и иммунология. - 2012. - Т. 13. - № 4. - С. 330.
6. Силантьева Т.А. Гистоморфометрическая характеристика активности дистракционного остеогенеза при различных способах нарушения целостности костей голени (экспериментальное исследование) / Т.А. Силантьева, А.М. Чиркова, С.А. Ерофеев // Гений ортопедии. - 2003. - № 3. - С. 120-125.
7. Гореванов Э.А., Мурадисинов С.О., Колчев О.В., Климов О.В. Рентгенологическая динамика регенерации костной ткани при моносегментарном биллокальном удлинении голени у детей и подростков с врожденным укорочением нижних конечностей // Гений ортопедии. - 2003. - № 4. - С. 15-20.
8. Дьячкова Г.В., Климов О.В., Аранович А.М., Дьячков К.А. Новые возможности изучения дистракционного регенерата по данным рентгенографии // Гений ортопедии. - 2015. - № 3. - С. 60-66.

9. Методики цифрового анализа рентгенологического изображения дистракционного регенерата при удлинении голени у больных ахондроплазией / А.М. Аранович [и др.] // *Фундаментальные исследования*. - 2015. - № 1-6. - С. 1115-1119.
10. Климов О.В., Лященко А.Н., Банышиков А.С. Программа ЭВМ «Hi – scene» для проведения компьютерного анализа, оценки и документации данных лучевых методов исследования и любых электронных изображений, а также проведения на основании полученных данных предоперационного моделирования: Патент России № 2014611777, 2014. Бюл. 3.
11. Гайдышев И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C++. - СПб.: БХВ-Петербург, 2004. - С. 512.
12. Lan X., Zhang L., Tang P. et al. S-osteotomy with lengthening and then nailing compared with traditional Ilizarov method // *Int Orthop*, 2013, vol. 37, № 10, pp. 1995–2000.
13. Кулеш П.Н. Коррекция формы ног по эстетическим показаниям (обзор литературы) / П.Н. Кулеш, Л.Н. Соломин // *Гений ортопедии*. - 2013. - № 2. - С. 117-123.
14. Баринов А.С., Воробьев А.А., Зайцев С.С. Косметические аспекты оперативной коррекции диспластических варусных деформаций нижних конечностей // *Клин. медицина*. - 2010. - № 4. - С. 57-60.
15. Al-Saati M., Magnussen R.A., Lustig S. et al. Distraction osteogenesis using a longitudinal corticotomy // *F.Int Orthop*, 2012, vol. 36, № (5), pp.1073–1077.