Прогнозирование и контроль течения дистракционного остеогенеза. Аналитический обзор

А.М. Аранович, М.В. Стогов, Е.А. Киреева, Т.И. Менщикова

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. акад. Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

Prediction and control of the distraction osteogenesis course. Analytical review

A.M. Aranovich, M.V. Stogov, E.A. Kireeva, T.I. Menshchikova

Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation

В представленном обзоре проведен анализ и оценка существующих способов и подходов к прогнозированию и контролю течения дистракционного остеогенеза (ДО). Анализ литературных данных обнаружил незначительное количество работ, в которых рекомендованы конкретные предикторы или способы прогнозирования течения дистракционного остеогенеза на этапах удлинения костей конечностей. Авторами выделены некоторые диагностические критерии оценки дистракционного регенерата в качестве потенциальных критериев прогноза его развития и созревания. Обнаружено, что все имеющиеся предикторы и потенциальные диагностические критерии оценки состояния дистракционного регенерата в клинической практике используются с целью дальнейшей коррекции режима дистракции (соответственно на этапе дистракции) и для определения сроков снятия аппарата, прогноза рецидивов, перелома, деформации регенерата в безаппаратном периоде. Показано, что для оценки и прогнозирования течения ДО могут быть применены все известные диагностические методы: рентгенологические, физиологические, УЗИ-диагностика, лабораторные исследования. Отмечено, что с позиции доказательной медицины необходима количественная оценка информативности большинства из известных предикторов нарушения ДО. Описаны сложности и проблемы разработки и применения прогностических тестов для оценки ДО. Предложены направления развития данной тематики. Прогнозирование течения ДО является необходимым элементом для задач контроля репарации тканей удлиняемого сегмента. Прогнозирование (предикция) и последующая профилактика нарушений ДО в рамках клинической практики является перспективным решением для оптимизации и улучшения качества лечения пациентов ортопедического профиля, которым применяют метод чрескостного дистракционного остеосинтеза по Г.А. Илизарову.

Ключевые слова: дистракционный остеосинтез, метод Илизарова, удлинение конечностей, прогнозирование

This review analyzes and assesses the existing methods and approaches to prediction and control of the course of distraction osteogenesis (DO). The analysis of the literature revealed few works that recommended specific predictors or methods for prognosis of the course of distraction osteogenesis at the stages of limb lengthening. The authors identified some diagnostic criteria for assessing the distraction regenerate as potential criteria for predicting its development and maturation. It was found that all available predictors and potential diagnostic criteria for assessing the state of the distraction regenerate in clinical practice are used to further correct the distraction regime (respectively, at the stage of distraction) and to determine the timing of the removal of the apparatus, as well as prognosis of recurrence, fracture, and deformity of the regenerate in the non-apparatus period. It was shown that all known diagnostic methods can be applied for the assessment and prediction of the DO course: radiological, physiological, ultrasound diagnostics, laboratory tests. It is stated that a quantitative assessment of the informative value of most of the known predictors of DO disorders is necessary from the point of view of the evidence-based medicine. Difficulties and problems of the development and application of prognostic tests for assessing DO are described. The directions to the development of this topic are proposed. Predicting the DO course is an essential element for monitoring the tissue repair of the segment under lengthening. Prediction and subsequent prophylaxis of DO disorders is a promising solution for optimizing and improving the quality of treatment of patients with orthopedic diseases by using the Ilizarov method of transosseous distraction osteosynthesis.

Keywords: distraction osteosynthesis, Ilizarov method, limb lengthening, prediction

Метод чрескостного дистракционного остеосинтеза (ЧДО), фундаментальное обоснование и практическая разработка которого были выполнены Г.А. Илизаровым, позволяет достигать значительных величин удлинения длинных костей с одновременным устранением их деформаций [1–2]. Одной из обозначенных проблем применения метода является контроль и управление дистракционным остеогенезом (ДО) [3], которые включают в себя диагностику состояния дистракционного регенерата (ДР), это, в основном, рентгенологические обследования с последующей, в случае необходимости, коррекцией тактики лечения. Такая практика, по сути, является только констатирующей, не позволяющей прогнозировать и предупреждать возможные на-

рушения течения ДО [4–5]. Для решения этой задачи необходим анализ существующих способов прогнозирования состояния ДР в клинической практике. Разработка этого направления, по нашему мнению, позволит качественно улучшить результаты лечения пациентов, у которых применяется ЧДО. Кроме того, это вполне логично вписывается в текущую превентивно-предиктивную и персонализированную парадигму современной медицины (или 4П-медицина) [6].

В связи с обозначенными задачами нами проведен аналитический обзор доступных литературных данных с целью оценки разработанности тематики по возможностям и способам прогнозирования течения ДО в клинической практике в условиях применения метода ЧДО.

Стратегия поиска литературных источников. Поиск литературных данных проведен по открытым электронным базам данных научной литературы PubMed и eLIBRARY. Для поиска использовали ключевые слова: «дистракционный остеосинтез», «дистракционный остеогенез», «прогноз», «прогнозирование», «предикция», «метод Илизарова», «Илизаров» (в русской и английских версиях). Поиск проводили по отдельным словам и в их сочетании.

Для проведения анализа и оценки литературных данных были определены критерии включения и исключения источников в аналитическое исследование.

Критерии включения

1. Наличие полнотекстовых источников или структурированной, с указанием конкретных количествен-

ных данных, аннотации.

2. Клинические исследования с указанием того, что пациенты были пролечены с применением методик ЧДО по Илизарову.

3. В источниках дистракционный регенерат должен быть оценен с помощью характеристик, описываемых количественными признаками.

Критерии исключения

1. Клинические примеры, тезисы докладов.

2. Исследования, имеющие признаки «дублирования» (схожий протокол исследования, группы и число пациентов и др.). В случае обнаружения «дублирующих» статей выбирали более поздний по дате публикации источник.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ литературных данных обнаружил незначительное количество работ, в которых рекомендованы конкретные предикторы или способы прогнозирования течения дистракционного остеогенеза на этапах удлинения костей конечностей методом ЧДО.

Поэтому в анализ нами были включены также и те работы, где авторами предложены количественные критерии оценки ДР, являющиеся потенциальными предикторами для прогнозирования течения ДО.

Всего в анализ было включено 40 источников [7–46].

Проведенная оценка показывает, что все имеющиеся предикторы и потенциальные диагностические критерии оценки состояния ДР в клинической практике используются в основном в двух целях:

– для коррекции режима дистракции. В этом случае в клинической практике после обнаружения специфических признаков, свидетельствующих о нарушении или росте риска возможных нарушений ДО, следует, как правило, коррекция режима дистракции и/или применение каких-либо дополнительных воздействий (фармакологическая коррекция, использование физиотерапевтических или иных средств). Положительным исходом таких превентивных мер является достижение запланированной величины удлинения;

– для определения сроков снятия аппарата, прогноза рецидивов, переломов и деформации регенерата в период после снятия аппарата. Превентивные меры

на данном этапе, как правило, связаны с процедурами стимуляции созревания регенерата, а положительным их исходом является снижение частоты рецидивов, деформаций, переломов регенерата.

На основании этого обнаруженные нами литературные данные мы сгруппировали в зависимости от целей прогнозирования.

Способы для оценки и прогноза состояния ДР в период дистракции суммированы в таблице 1. Из представленной таблицы видно, что к настоящему времени для целей оценки и прогнозирования течения ДО могут быть применены практически все существующие диагностические методы: рентгенологические, методы УЗИ-диагностики, лабораторные и физиологические исследования. При этом анализ данных работ говорит о том, что к наиболее ранним доклиническим и до-рентгенологическим предикторам нарушения ДО могут быть отнесены лабораторные тесты (возможность прогноза до начала оперативного лечения и в течение первых 3–4 суток дистракции) и методы УЗИ-диагностики (первые недели дистракции).

Для оценки ДР в целях прогнозирования нарушений после снятия аппарата преимущественно используются методы рентгенологической оценки: КТ, МРТ, оценка минеральной плотности костной ткани (МПКТ) (табл. 2). Имеются методы лабораторной оценки и прогнозирования созревания ДР в период фиксации и в период после снятия аппарата.

Таблица 1

Методы и критерии оценки и прогноза состояния дистракционного регенерата в период дистракции

Метод диагностики	Критерии, признаки, объекты контроля	Источники
Рентгеновские методы*	Количественная оценка ДР, зонография, оценка оптической плотности	7, 8, 9, 10
	Высота соединительнотканной прослойки ДР	11, 12
	Форма ДР	13
УЗИ	Эхопризнаки ДР	14, 15, 16, 17, 18
Физиологические	Подография	19
	Термография	20
Лабораторный	Иммунограмма	21, 22
	Факторы роста	23, 24, 25, 26, 27
	Биохимия крови	28, 29
	Гемостаз	30
	Гематология	31

Примечание: * – учитывали только признаки, описываемые количественно, качественные (описательные) признаки не учитывали.

Таблица 2

Методы и критерии оценки и прогноза состояния дистракционного регенерата на этапе фиксации и в безаппаратный период

Метод диагностики	Критерии, признаки, объекты контроля	Источники
Рентгенологический	Количественная оценка ДР, зонография, оценка оптической плотности ДР	7, 8, 9, 32, 33, 34, 35, 36
	Плотность, диаметр, форма ДР	37, 38, 39, 40
	МПКТ регенерата	41, 42
МРТ	Плотность корковой пластинки	43
Лабораторный	Биохимия крови	44, 45, 46

Таким образом, представленные данные позволяют заключить, что к настоящему времени имеется достаточно способов диагностики и оценки ДР для контроля течения ДО. Многие из этих способов вполне подходят для решения задач прогнозирования развития ДО.

Однако с позиции доказательной медицины для большинства из представленных выше тестов необходима количественная оценка информативности этих предикторов (расчет отношения шансов,

чувствительности, специфичности тестов). Работы, в которых для предложенных критериев и тестов эта процедура проведена, единичны, все источники представлены в таблице 3. Очевидно, что в представленных данных имеются тесты с достаточно высокой прогностической ценностью [38, 40]. Однако в целом валидизированных тестов для прогноза течения ДО при удлинении костей конечностей по методу Илизарова совсем мало.

Таблица 3

Прогностическая информативность некоторых критериев оценки состояния дистракционного регенерата на этапах оперативного лечения

Метод	Предиктор	Информативность теста*	Источник
Рентгенография, форма ДР	деформация ДР	ОШ = 5,4 (95% ДИ: 2,4–12,4)	[13]
Рентгенография, форма ДР	перелом ДР	ОШ = 19,3 (95% ДИ: 2,9–128,0)	[38]
Рентгенография, плотность и диаметр ДР	деформация ДР	чувствительность 93,3 %; специфичность 83,2 %	[40]
Иммунограмма	замедление ДО	Точность прогнозирования 81,2 %	[21]

Примечание: * – как указаны в источниках; 95%ДИ – 95%-й доверительный интервал.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ литературных данных демонстрирует, что к настоящему времени существует достаточно методов и способов контроля ДР, а валидизированные методы и критерии прогноза его состояния единичны.

Помимо практического отсутствия применимых в практике надежных методов прогноза ДО, существует и ряд других сложностей в развитии этого направления диагностики:

а) выглядящие привлекательными за счет возможности ранней диагностики лабораторные тесты в данный момент в большинстве своем не унифицированы и не верифицированы, поэтому используются только для исследовательских целей;

б) необходимо разграничивать понятия диагностики текущего состояния ДР и прогноза его состояния в будущем. На практике важно понимание клинициста, что прогноз базируется на текущих диагностических признаках, которые лишь с определенной вероятностью могут свидетельствовать о возможных нарушениях течения ДО в будущем.

в) из предыдущего пункта вытекает задача – какие значения чувствительности тестов (отношение шансов, специфичность и др.) приемлемы для прогноза неблагоприятных событий или исходов при применении метода ЧДО в клинической практике.

В связи с этим, для совершенствования технологий, способов и критериев прогноза для задач контроля ДО мы выделили ряд направлений их развития.

1. Поиск новых чувствительных предикторов, в основном, лабораторных (молекулярно-генетические, метаболические исследования и т.д.).

2. Обязательная унификация и валидизация потенциальных прогностических тестов.

3. Разработка комплексных критериев оценки и прогноза ДО с использованием нескольких методов обследования. Применение таких подходов встречается в ряде работ [47, 48].

4. Расширение прогностических возможностей за счет развития технических способов оценки, анализа и прогноза (математическое моделирование, нейронные сети, создание программного обеспечения и специализированных «диагностических гаджетов» для аппарата Илизарова и др.). Отдельные подходы для развития этого направления также представлены в литературных источниках [49–52].

Отдельно стоит отметить, что оценка ДР не является единственной задачей контроля и прогноза при оперативном удлинении костей конечности по методу Илизарова. В частности, в многочисленных исследованиях показана необходимость и возможность оценки и прогноза состояния скелетных мышц и нервов удлиняемого сегмента [53–57], кровотока в оперированном сегменте [58], а также прогноз развития воспалительных реакций, связанных с наличием металлоконструкции [59]. Следовательно, комплексная оценка и прогнозирование течения ДО требует системной оценки с учетом состояния парасосальных органов.

Таким образом, в плане развития направления контроля и управления дистракционным остеогенезом в краткосрочной перспективе, по нашему мнению, приоритетной задачей является валидизация известных критериев с целью определения их прогностической ценности. В долгосрочной перспективе (в связи с расширением числа

вероятных прогностических тестов, развития комплексной оценки ДР и параоссальных тканей) решение задач прогнозирования требует создания автоматизированной

(он-лайн) системы контроля и прогнозирования течения ДО. Тем более, что технически создание такой системы в настоящее время вполне возможно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогнозирование течения ДО является необходимым элементом решения задач контроля репарации тканей удлиняемого сегмента при применении метода ЧДО. По своим возможностям прогнозирование (предикция) и последующая профилактика нарушений ДО в рамках клинической практики являются перспектив-

ным подходом для оптимизации и улучшения качества лечения и его исходов у ортопедических пациентов, которым применяют метод ЧДО по Г.А. Илизарову. Однако это направление в настоящее время требует значительной, прежде всего технической и статистической разработки.

ЛИТЕРАТУРА

- Gubin A., Borzunov D., Malkova T. Ilizarov method for bone lengthening and defect management. Review of contemporary literature // Bull. Hosp. Jt. Dis. 2016. Vol. 74, No 2. P. 145-154.
- Contribution of G.A. Ilizarov to bone reconstruction: historical achievements and state of the art / A.V. Gubin, D.Y. Borzunov, L.O. Marchenkova, T.A. Malkova, I.L. Smirnova // Strategies Trauma Limb Reconstr. 2016. Vol. 11, No 3. P. 145-152. DOI: 10.1007/s11751-016-0261-7.
- Губин А.В., Борзунов Д.Ю. Парадигма Илизарова // Гений ортопедии. 2012. № 4. С. 5-9.
- Борзунов Д.Ю., Шастов А.Л. «Ишемический» дистракционный регенерат при замещении дефектов длинных костей по Г.А. Илизарову. Вариант решения проблемы // Врач-аспирант. 2013. Т. 60, № 5.2. С. 257-265.
- Урьев Г.А., Бореико С.Б., Степура Л.И. Рентген-ультразвуковые параллели в оценке состояния дистракционного регенерата при удлинении конечностей // Медицинский журнал. 2008. № 1 (23). С. 74-76.
- Пальцев М.А., Белушкина Н.Н., Чабан Е.А. 4П-медицина как новая модель здравоохранения в Российской Федерации // ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучение. Вестник ВШОУЗ. 2015. № 2. С. 48-54.
- Качественные и количественные показатели рентгенологической оценки дистракционного регенерата / Г.В. Дьячкова, Е.С. Михайлов, С.А. Ерофеев, С.А. Нижечик, М.А. Корабельников // Гений ортопедии. 2003. № 4. С. 11-14.
- Анализ оптической плотности рентгенографического изображения дистракционного костного регенерата бедренной кости при удлинении врожденно укороченного бедра методом биллокального дистракционного остеосинтеза / А.В. Попков, С.А. Аборин, Э.А. Гореванов, О.В. Климов // Гений ортопедии. 2003. № 4. С. 21-23.
- Analysis of radiographic bone parameters throughout the surgical lengthening and deformity correction of extremities / N. Atanasov, A. Poposka, M. Samardziski, V. Kamnar // Pril. (Makedon Akad. Nauk Umet. Odd. Med. Nauki). 2014. Vol. 35, No 3. P. 175-183.
- Catagni M.A., Guerreschi F., Lovisetti L. Distraction osteogenesis for bone repair in the 21st century: lessons learned // Injury. 2011. Vol. 42, No 6. P. 580-586. DOI: 10.1016/j.injury.2011.04.004.
- Довгалевиц И.И. Внеочаговый компрессионно-дистракционный остеосинтез при лечении инфицированных дефектов длинных трубчатых костей // Военная медицина. 2017. № 1 (42). С. 20-23.
- Способ дистракционного остеосинтеза : пат. 2102022 Рос. Федерация / Калякина В.И. ; заявитель и патентообладатель РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова. № 5024338/14 ; заявл. 29.11.1991 ; опубл. 20.01.1998.
- Radiographic classification of osteogenesis during bone distraction / R. Li, M. Saleh, L. Yang, L. Coulton // J. Orthop. Res. 2006. Vol. 24, No 3. P. 339-347. DOI: 10.1002/jor.20026.
- Возможности ультразвукового метода исследования в оценке зрелости дистракционного регенерата при удлинении длинных костей нижних конечностей / Н.А. Еськин, А.И. Дорохин, С.Г. Приписнова, А.В. Дамбинимаяев // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. № 12. С. 65-72.
- Менщикова Т.И., Аранович А.М. Особенности структурного состояния костного регенерата у больных ахондроплазией и с врожденной варусной деформацией голени (ультразвуковое исследование) // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2013. № 1. С. 68-73.
- Ультрасонографические признаки низкой остеогенной активности при удлинении голени / Т.И. Менщикова, А.М. Аранович, Е.В. Дендиберя, К.И. Новиков // Гений ортопедии. 2004. № 3. С. 45-48.
- Менщикова Т.И., Борзунов Д.Ю., Долганова Т.И. Ультразвуковое сканирование дистракционного регенерата при полилокальном удлинении отломков у больных с дефектами длинных костей // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2014. № 3. С. 20-24.
- Poposka A., Atanasov N., Dzoleva-Tolevska R. Use of ultrasonography in evaluation of new bone formation in patients treated by the method of Ilizarov // Prilozi. 2012. Vol. 33, No 1. P. 199-208.
- Долганова Т.И., Новиков К.И., Колесникова Э.С. Диагностическая значимость подографии при планировании косметического удлинения голени // Фундаментальные исследования. 2014. № 7-3. С. 482-486.
- Use of thermography to monitor the bone regenerate during limb lengthening – preliminary communication / L. Morasiewicz, K. Dudek, W. Orzechowski, M. Kulej, M. Stepniewski // Ortop. Traumatol. Rehabil. 2008. Vol. 10, No 3. P. 279-285.
- Белохвостикова Т.С., Михалевиц И.М. Иммунологическое прогнозирование нарушений регенерации костной ткани // Сибирское медицинское обозрение. 2018. № 3 (111). С. 98-104.
- Леонова С.Н., Капка А.Л., Рехов А.В. Применение новых технологий в гнойной остеологии // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2011. № 4-1 (80). С. 110-114.
- Факторы роста семейства TGF-β в крови больных ахондроплазией на этапах ортопедического лечения / Е.П. Выхованец, Н.В. Сакулин, С.Н. Лунева, Н.В. Накоскина, О.В. Климов // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2018. Т. 62, № 2. С. 70-76. DOI: 10.25557/0031-2991.2018.02.70-76.
- Compton J., Fragomen A., Rozbruch S.R. Skeletal Repair in Distraction Osteogenesis: Mechanisms and Enhancements // JBJS Rev. 2015. Vol. 3, No 8. 01874474-201508000-00002. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.N.00107.
- Dhaliwal K., Kunchur R., Farhadieh R. Review of the cellular and biological principles of distraction osteogenesis: An in vivo bioreactor tissue engineering model // J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg. 2016. Vol. 69, No 2. P. e19-e26. DOI: 10.1016/j.bjps.2015.11.003.
- Stogov M.V., Luneva S.N., Novikov K.I. Growth factors in human serum during operative tibial lengthening with the Ilizarov method // J. Orthop. Res. 2013. Vol. 31, No 12. P. 1966-1970. DOI: 10.1002/jor.22454.
- Stogov M.V., Tushina N.V., Emanov A.A. Serum Concentration of Growth Factors in Dogs under Different Conditions of Distraction Osteogenesis // Bull. Exp. Biol. Med. 2015. Vol. 160, No 2. P. 213-215. DOI: 10.1007/s10517-015-3131-2.
- Динамика биохимических показателей сыворотки крови у пациентов с посттравматическими укорочениями костей конечности в процессе лечения методом Илизарова / М.А. Ковинька, М.В. Стогов, Н.В. Тушина, Ф.Ф. Гофман // Гений ортопедии. 2011. № 4. С. 35-38.
- Талашова И.А., Кононович Н.А., Тушина Н.В. Биохимические маркеры костеобразования и воспаления у собак при удлинении костей голени по Илизарову // Ветеринария Кубани. 2016. № 5. С. 21-24.
- Способ оценки течения дистракционного остеосинтеза : пат. 2291432 Рос. Федерация / Аранович А.М., Трофимова Е.В., Новиков К.И. ; заявитель и патентообладатель ФГУН «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию. № 2005122345/15 ; заявл. 14.07.2005 ; опубл. 10.01.2007, Бюл. № 1.

31. Базарный В.В. Лабораторный мониторинг дистракционного костеобразования // Клиническая лабораторная диагностика. 1999. № 6. С. 16-17.
32. Способ определения степени резорбции кортикальной пластинки кости после дистракционного удлинения конечности : пат. 2484772 Рос. Федерация / Дьячков К.А., Дьячкова Г.В., Александров Ю.М.; заявитель и патентообладатель ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» М-ва здравоохранения и социального развития Российской Федерации. № 2011154285/14; заявл. 28.12.2011; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17.
33. Качество кости по данным мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ) у больных с укорочением конечности до и после лечения / Г.В. Дьячкова, К.А. Дьячков, Т.А. Ларионова, А.М. Аранович // Диагностическая и интервенционная радиология. 2018. Т. 12, № 1. С. 11-21.
34. Рентгенологическая динамика репаративного остеогенеза при билочальном дистракционным остеосинтезе врожденно укороченного бедра / А.В. Попков, С.А. Аборин, Э.А. Гореванов, О.В. Климов // Гений ортопедии. 2003. № 1. С. 64-67.
35. Correlation of pQCT bone strength index with mechanical testing in distraction osteogenesis / С. Kokoroghiannis, I. Charopoulos, G. Lyritis, P. Raptou, T. Karachalios, N. Papaioannou // Bone. 2009. Vol. 45, No 3. P. 512-516. DOI: 10.1016/j.bone.2009.05.021.
36. Regeneration formation index – new method of quantitative evaluation of distraction osteogenesis / M. Tesiorowski, T. Potaczek, B. Jasiewicz, W. Kacki, K. Łokas // Chir. Narzadow Ruchu Ortop. Pol. 2009. Vol. 74, No 3. P. 121-126.
37. Callus features of regenerate fracture cases in femoral lengthening in achondroplasia / K.N. Devmurari, H.R. Song, H.N. Modi, K.P. Venkatesh, K.S. Ju, S.H. Song // Skeletal Radiol. 2010. Vol. 39, No 9. P. 897-903. DOI: 10.1007/s00256-009-0742-6.
38. Early and late fracture following extensive limb lengthening in patients with achondroplasia and hypochondroplasia / H. Kitoh, K. Mishima, M. Matsushita, Y. Nishida, N. Ishiguro // Bone Joint J. 2014. Vol. 96-B, No 9. P. 1269-1273. DOI: 10.1302/0301-620X.96B9.33840.
39. Leg lengthening by distraction osteogenesis using the Ilizarov apparatus: a novel concept of tibia callus subsidence and its influencing factors / A.K. Shyam, S.U. Singh, H.N. Modi, H.R. Song, S.H. Lee, H. An // Int. Orthop. 2009. Vol. 33, No 6. P. 1753-1759. DOI: 10.1007/s00264-008-0660-6.
40. Tirawanish P, Eamsobhana P. Prediction of Callus Subsidence in Distraction Osteogenesis Using Callus Formation Scoring System: Preliminary Study // Orthop. Surg. 2018. Vol. 10, No 2. P. 121-127. DOI: 10.1111/os.12374.
41. Saran N., Hamdy R.C. DEXA as a predictor of fixator removal in distraction osteogenesis // Clin. Orthop. Relat. Res. 2008. Vol. 466, No 12. P. 2955-2961. DOI: 10.1007/s11999-008-0514-y.
42. Fracture stiffness in callotasis determined by dual-energy X-ray absorptiometry scanning / G. Tselentakis, P.J. Owen, J.B. Richardson, J.H. Kuiper, M.J. Haddaway, J.S. Dwyer, G.A. Evans // J. Pediatr. Orthop. B. 2001. Vol. 10, No 3. P. 248-254.
43. МРТ-семиотика дистракционного регенерата / К.А. Дьячков, М.А. Корабельников, Г.В. Дьячкова, А.М. Аранович, О.В. Климов // Медицинская визуализация. 2011. № 5. С. 99-103.
44. Лапынин А.И. Биохимические методы оценки в отдаленные сроки реабилитации больных методом управляемого чрескостного остеосинтеза по поводу остеомиелитических полостей костей нижних конечностей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 5-5. С. 1808-1811.
45. Возможности нагрузочной пробы лактатом кальция для оценки состояния кальций-регулирующей гормональной системы при удлинении конечностей / Д.А. Попков, Л.С. Кузнецова, С.Н. Лунева, М.В. Стогов // Гений ортопедии. 2005. № 4. С. 65-68.
46. Прогноз длительности созревания дистракционного регенерата / Н.В. Тушина, М.В. Стогов, Н.А. Кононович, А.А. Еманов // Травматология и ортопедия России. 2012. № 1 (63). С. 49-54.
47. Менщикова Т.И., Новиков К.И. Ультрасонографическая и рентгенологическая оценки структурного состояния дистракционного регенерата большеберцовой кости // Травматология и ортопедия России. 2005. № 4 (38). С. 57-59.
48. Сайфутдинов М.С., Дьячков К.А., Корабельников М.А. Сопоставительный анализ активационных характеристик мышц нижних конечностей до и после их удлинения методом дистракционного остеосинтеза у больных ахондроплазией с данными компьютерной томографии // Гений ортопедии. 2006. № 3. С. 73-77.
49. Методики цифрового анализа рентгенологического изображения дистракционного регенерата при удлинении голени у больных ахондроплазией / А.М. Аранович, Г.В. Дьячкова, О.В. Климов, К.А. Дьячков, А.С. Неретин // Фундаментальные исследования. 2015. № 1-6. С. 1115-1119.
50. Гайдышев И.П. Программное управление аппаратом Илизарова // Гений ортопедии. 2005. № 3. С. 97-101.
51. Методы диагностики и факторы риска прогноза тромбозов в системах поддержки принятия решений / Р.А. Крупчатников, В.Н. Мишустин, М.В. Артеменко, И.И. Добровольский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 1 (22). С. 69-81.
52. Computer-assisted distraction osteogenesis by Ilizarov's method / A.L. Simpson, B. Ma, B. Slagel, D.P. Borschneck, R.E. Ellis // Int. J. Med. Robot. 2008. Vol. 4, No 4. P. 310-320. DOI: 10.1002/rcs.211.
53. Винокурова Т.С., Гаркавенко Ю.Е., Брытов А.В. Клинико-нейрофизиологический анализ функционального состояния периферической нервной системы у детей с последствиями гематогенного остеомиелита при удлинении нижней конечности методом дистракционного остеосинтеза // Травматология и ортопедия России. 2008. № 3 (49). С. 30-34.
54. Гребенюк Л.А., Сайфутдинов М.С., Гребенюк Е.Б. Возможности комплексного использования эхографии и электромиографии в оценке состояния нервно-мышечного аппарата при оперативном удлинении конечностей // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 1. С. 33.
55. Менщикова Т.И., Аранович А.М. Оценка резервных возможностей передней группы мышц голени у больных ахондроплазией в процессе удлинения (ультразвуковое исследование) // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2015. № 3. С. 13-19.
56. Nerve lesions associated with limb-lengthening / M.P. Nogueira, D. Paley, A. Bhav, A. Herbert, C. Nocente, J.E. Herzenberg // J. Bone Joint Surg. Am. 2003. Vol. 85, No 8. P. 1502-1510. DOI: 10.2106/00004623-200308000-00011.
57. Myotopography in Tibial Lengthening / K.I. Novikov, O.V. Klimov, K.N. Subramanyam, A.S. Neretin, O.S. Novikova // Arch. Bone Jt. Surg. 2018. Vol. 6, No 4. P. 331-334.
58. Щуров В.А., Попков А.В., Аранович А.М. Полярографический контроль состояния регионарного кровообращения при оперативном удлинении голени // Гений ортопедии. 2015. № 4. С. 76-79. DOI: 10.18019/1028-4427-2015-4-76-79.
59. Прогнозирование воспалительных осложнений при внеочаговом остеосинтезе / С.М. Кутепов, И.Л. Шлыков, О.В. Бердюгина, К.А. Бердюгин, Н.Л. Кузнецова // Вестник травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина. 2009. Т. 1, № 1. С. 44-46.

REFERENCES

1. Gubin A., Borzunov D., Malkova T. Ilizarov method for bone lengthening and defect management. Review of contemporary literature. *Bull. Hosp. Jt. Dis.*, 2016, vol. 74, no. 2, pp. 145-154.
2. Gubin A.V., Borzunov D.Y., Marchenkova L.O., Malkova T.A., Smirnova I.L. Contribution of G.A. Ilizarov to bone reconstruction: historical achievements and state of the art. *Strategies Trauma Limb Reconstr.*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 145-152. DOI: 10.1007/s11751-016-0261-7.
3. Gubin A.V., Borzunov D.Y. Paradigma Ilizarova [Ilizarov's paradigm]. *Genij Ortopedii*, 2012, no. 4, pp. 5-9. (in Russian)
4. Borzunov D.Y., Shastov A.L. «Ishemicheskii» distraktsionnyi regenerat pri zameshchenii defektov dlinnykh kostei po G.A. Ilizarovu. Variant resheniia problemy ["Ischemic" distraction regenerated bone when filling long bone defects according to G.A. Ilizarov. Problem solution]. *Vrach-Aspirant*, 2013, vol. 60, no. 5.2, pp. 257-265. (in Russian)
5. Urev G.A., Boreiko S.B., Stepuro L.I. Rentgen-ultrazvukovye paralleli v otsenke sostoiianiia distraktsionnogo regenerata pri udlinenii konechnosti [Roentgen-ultrasonic parallels in the evaluation of the regenerated bone condition during limb lengthening]. *Meditsinskii Zhurnal*, 2008, no. 1 (23), pp. 74-76. (in Russian)
6. Paltsev M.A., Belushkina N.N., Chaban E.A. 4P-meditisina kak novaya model zdravookhraneniia v Rossiiskoi Federatsii [4P-medicine as a new model of health service in the Russian Federation]. *ORGZDRAV: novosti, mneniia, obuchenie. Vestnik VShOUZ*, 2015, no. 2, pp. 48-54. (in Russian)
7. Diachkova G.V., Mikhailov E.S., Yerofeyev S.A., Nizhechik S.A., Korabelnikov M.A. Kachestvennye i kolichestvennye pokazateli rentgenologicheskoi otsenki distraktsionnogo regenerata [Qualitative and quantitative indices of roentgenological assessment of a distraction regenerate bone]. *Genij Ortopedii*, 2003, no. 4, pp. 11-14. (in Russian)

8. Popkov A.V., Aborin S.A., Gorevanov E.A., Klimov O.V. Analiz opticheskoi plotnosti rentgenograficheskogo izobrazheniia distraktsionnogo kostnogo regenerata bedrennoi kosti pri udlinenii vrozhdennno ukorochennogo bedra metodom bilokalnogo distraktsionnogo osteosinteza [The analysis of the optical density of the x-ray image of the femoral distraction regenerate bone in the process of lengthening of congenitally shortened femur using the technique of bifocal distraction osteosynthesis]. *Genij Ortopedii*, 2003, no. 4, pp. 21-23. (in Russian)
9. Atanasov N., Poposka A., Samardziski M., Kamnar V. Analysis of radiographic bone parameters throughout the surgical lengthening and deformity correction of extremities. *Pril. (Makedon Akad. Nauk Umet. Odd. Med. Nauki)*, 2014, vol. 35, no. 3, pp. 175-183.
10. Catagni M.A., Guerreschi F., Lovisetti L. Distraction osteogenesis for bone repair in the 21st century: lessons learned. *Injury*, 2011, vol. 42, no. 6, pp. 580-586. DOI: 10.1016/j.injury.2011.04.004.
11. Dovgalevich I.I. Vneochagovyi kompressionno-distraktsionnyi osteosintez pri lechenii infitsirovannykh defektov dlinnykh trubchatykh kostei [Extrafocal compression-distraction osteosynthesis in the treatment of infected defects of long tubular bones]. *Voennaia Meditsina*, 2017, no. 1 (42), pp. 20-23. (in Russian)
12. Kaliakina V.I. *Sposob distraktsionnogo osteosinteza* [The way of distraction osteosynthesis]. Patent RF, no. 2102022, 1991. (in Russian)
13. Li R., Saleh M., Yang L., Coulton L. Radiographic classification of osteogenesis during bone distraction. *J. Orthop. Res.*, 2006, vol. 24, no. 3, pp. 339-347. DOI: 10.1002/jor.20026.
14. Eskin N.A., Dorokhin A.I., Pripisnova S.G., Dambinimaev A.V. Vozmozhnosti ultrazvukovogo metoda issledovaniia v otsenke zrelosti distraktsionnogo regenerata pri udlinenii dlinnykh kostei nizhnikh konechnostei [The possibilities of ultrasound research method in the assessment of distraction regenerated bone maturity during lengthening long bones of the lower limbs]. *Biomeditsinskaiia Radioelektronika*, 2011, no. 12, pp. 65-72. (in Russian)
15. Menshchikova T.I., Aranovich A.M. Osobennosti strukturnogo sostoiianiia kostnogo regenerata u bolnykh akhondroplaziei i s vrozhdennoi varusnoi deformatsiei goleni (ultrazvukovoe issledovanie) [Peculiar properties of the structural condition of regenerated bone in patients with achondroplasia and with congenital varus deformity of the leg (An ultrasound study)]. *Vestnik Travmatologii i Ortopedii im. N.N. Priorova*, 2013, no. 1, pp. 68-73. (in Russian)
16. Menshchikova T.I., Aranovich A.M., Dendiberia E.V., Novikov K.I. Ultrasonograficheskie priznaki nizkoi osteogennoi aktivnosti pri udlinenii goleni [Ultrasonographic signs of low osteogenous activity during leg lengthening]. *Genij Ortopedii*, 2004, no. 3, pp. 45-48. (in Russian)
17. Menshchikova T.I., Borzunov D.Y., Dolganova T.I. Ultrazvukovoe skanirovaniie distraktsionnogo regenerata pri polilokalnom udlinenii otlomkov u bolnykh s defektami dlinnykh kostei [Ultrasound scanning of distraction regenerated bone during polylocal fragment lengthening in patients with long bone defects]. *Khirurgiia. Zhurnal im. N.I. Pirogova*, 2014, no. 3, pp. 20-24. (in Russian)
18. Poposka A., Atanasov N., Dzeleva-Tolevska R. Use of ultrasonography in evaluation of new bone formation in patients treated by the method of Ilizarov. *Prilozi*, 2012, vol. 33, no. 1, pp. 199-208.
19. Dolganova T.I., Novikov K.I., Kolesnikova E.S. Diagnosticheskaiia znachimost podografii pri planirovanii kosmeticheskogo udlineniia goleni [Diagnostic significance of podography when planning cosmetic leg lengthening]. *Fundamentalnye Issledovaniia*, 2014, no. 7-3, pp. 482-486. (in Russian)
20. Morasiewicz L., Dudek K., Orzechowski W., Kulej M., Stepniowski M. Use of thermography to monitor the bone regenerate during limb lengthening – preliminary communication. *Ortop. Traumatol. Rehabil.*, 2008, vol. 10, no. 3, pp. 279-285.
21. Belokhvostikova T.S., Mikhalevich I.M. Immunologicheskoe prognozirovaniie narushenii regeneratsii kostnoi tkani [Immunological prediction of bone tissue regeneration disorders]. *Sibirskoe Meditsinskoe Obozrenie*, 2018, no. 3 (111), pp. 98-104. (in Russian)
22. Leonova S.N., Kameka A.L., Rekhov A.V. Primenenie novykh tekhnologii v gnoinoi osteologii [The use of new technologies in purulent osteology]. *Biulleten VSNtS SO RAMN*, 2011, no. 4-1 (80), pp. 110-114. (in Russian)
23. Vykhovanets E.P., Sakulin N.V., Luneva S.N., Nakoskina N.V., Klimov O.V. Faktory rosta semeistva TGF-β v krovi bolnykh akhondroplaziei na etapakh ortopedicheskogo lecheniia [Growth factors of TGF-β family in the blood of patients with achondroplasia at the stages of orthopedic treatment]. *Patologicheskaiia Fiziologiia i Eksperimentalnaia Terapiia*, 2018, vol. 62, no. 2, pp. 70-76. (in Russian) DOI: 10.25557/0031-2991.2018.02.70-76.
24. Compton J., Fragomen A., Rozbruch S.R. Skeletal Repair in Distraction Osteogenesis: Mechanisms and Enhancements. *JBJS Rev.*, 2015, vol. 3, no. 8, 01874474-201508000-00002. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.N.00107.
25. Dhaliwal K., Kunchur R., Farhadieh R. Review of the cellular and biological principles of distraction osteogenesis: An in vivo bioreactor tissue engineering model. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.*, 2016, vol. 69, no. 2, pp. e19-e26. DOI: 10.1016/j.bjps.2015.11.003.
26. Stogov M.V., Luneva S.N., Novikov K.I. Growth factors in human serum during operative tibial lengthening with the Ilizarov method. *J. Orthop. Res.*, 2013, vol. 31, no. 12, pp. 1966-1970. DOI: 10.1002/jor.22454.
27. Stogov M.V., Tushina N.V., Emanov A.A. Serum Concentration of Growth Factors in Dogs under Different Conditions of Distraction Osteogenesis. *Bull. Exp. Biol. Med.*, 2015, vol. 160, no. 2, pp. 213-215. DOI: 10.1007/s10517-015-3131-2.
28. Kovinka M.A., Stogov M.V., Tushina N.V., Gofman F.F. Dinamika biokhimicheskikh pokazatelei syvorotki krovi u patsientov s posttraumaticheskimi ukorocheniiami kostei konechnosti v protsesse lecheniia metodom Ilizarova [The dynamics of blood serum biochemical values in patients with posttraumatic limb bone shortenings in the process of treatment by the Ilizarov method]. *Genij Ortopedii*, 2011, no. 4, pp. 35-38. (in Russian)
29. Talashova I.A., Kononovich N.A., Tushina N.V. Biokhimicheskie markery kosteobrazovaniia i vospaleniia u sobak pri udlinenii kostei goleni po Ilizarovu [Biochemical markers of osteogenesis and inflammation in dogs when lengthening leg bones according to Ilizarov]. *Veterinariia Kubani*, 2016, no. 5, pp. 21-24. (in Russian)
30. Aranovich A.M., Trofimova E.V., Novikov K.I. *Sposob otsenki techeniia distraktsionnogo osteosinteza* [The way to assess distraction osteosynthesis process]. Patent RF, no. 2291432, 2005. Biul., 2007, no. 1. (in Russian)
31. Bazarnyi V.V. Laboratornyi monitoring distraktsionnogo kosteobrazovaniia [Laboratory monitoring of distraction osteogenesis]. *Klinicheskaiia Laboratornaia Diagnostika*, 1999, no. 6, pp. 16-17. (in Russian)
32. Diachkov K.A., Dyachkova G.V., Aleksandrov Iu.M. *Sposob opredeleniia stepeni rezorptsii kortikalnoi plastinki kosti posle distraktsionnogo udlineniia konechnosti* [The way to determine the resorption degree of cortical bone plate after limb distraction lengthening]. Patent RF, no. 2484772, 2011. Biul., 2013, no. 17. (in Russian)
33. Dyachkova G.V., Diachkov K.A., Larionova T.A., Aranovich A.M. Kachestvo kosti po dannym multisrezovoi kompiuternoi tomografii (MSKT) u bolnykh s ukorocheniem konechnosti do i posle lecheniia [Bone quality by the data of multislice computed tomography (MSCT) in patients with limb shortening before and after treatment]. *Diagnosticheskaiia i Interventsionnaia Radiologiia*, 2018, vol. 12, no. 1, pp. 11-21. (in Russian)
34. Popkov A.V., Aborin S.A., Gorevanov E.A., Klimov O.V. Rentgenologicheskaiia dinamika reparativnogo osteogeneza pri bilokalnom distraktsionnom osteosinteze vrozhdennno ukorochennogo bedra [The roentgenological dynamics of reparative osteogenesis for bifocal distraction osteosynthesis of congenitally shortened femur]. *Genij Ortopedii*, 2003, no. 1, pp. 64-67. (in Russian)
35. Kokoroghiannis C., Charopoulos I., Lyrakis G., Raptou P., Karachalios T., Papaioannou N. Correlation of pQCT bone strength index with mechanical testing in distraction osteogenesis. *Bone*, 2009, vol. 45, no. 3, pp. 512-516. DOI: 10.1016/j.bone.2009.05.021.
36. Tesiorowski M., Potaczek T., Jasiewicz B., Kacki W., Łokas K. Regeneration formation index – new method of quantitative evaluation of distraction osteogenesis. *Chir. Narzadow Ruchu Ortop. Pol.*, 2009, vol. 74, no. 3, pp. 121-126.
37. Devmurari K.N., Song H.R., Modi H.N., Venkatesh K.P., Hu K.S., Song S.H. Callus features of regenerate fracture cases in femoral lengthening in achondroplasia. *Skeletal Radiol.*, 2010, vol. 39, no. 9, pp. 897-903. DOI: 10.1007/s00256-009-0742-6.
38. Kitoh H., Mishima K., Matsushita M., Nishida Y., Ishiguro N. Early and late fracture following extensive limb lengthening in patients with achondroplasia and hypochondroplasia. *Bone Joint J.*, 2014, vol. 96-B, no. 9, pp. 1269-1273. DOI: 10.1302/0301-620X.96B9.33840.
39. Shyam A.K., Singh S.K., Modi H.N., Lee S.H., An H. Leg lengthening by distraction osteogenesis using the Ilizarov apparatus: a novel concept of tibia callus subsidence and its influencing factors. *Int. Orthop.*, 2009, vol. 33, no. 6, pp. 1753-1759. DOI: 10.1007/s00264-008-0660-6.
40. Tirawanish P., Eamsobhana P. Prediction of Callus Subsidence in Distraction Osteogenesis Using Callus Formation Scoring System: Preliminary Study. *Orthop. Surg.*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 121-127. DOI: 10.1111/os.12374.
41. Saran N., Hamdy R.C. DEXA as a predictor of fixator removal in distraction osteogenesis. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 2008, vol. 466, no. 12, pp. 2955-2961. DOI: 10.1007/s11999-008-0514-y.

42. Tselentakis G., Owen P.J., Richardson J.B., Kuiper J.H., Haddaway M.J., Dwyer J.S., Evans G.A. Fracture stiffness in callotasis determined by dual-energy X-ray absorptiometry scanning. *J. Pediatr. Orthop. B*, 2001, vol. 10, no. 3, pp. 248-254.
43. Diachkov K.A., Korabelnikov M.A., Dyachkova G.V., Aranovich A.M., Klimov O.V. MRT-semiotika distraktsionnogo regenerate [MRI-semiotics of distraction regenerated bone]. *Meditsinskaya Vizualizatsiya*, 2011, no. 5, pp. 99-103. (in Russian)
44. Lapyunin A.I. Biokhimicheskie metody otsenki v otdalennyye sroki reabilitatsii bolnykh metodom upravlyаемого chreskostnogo osteosinteza po povodu osteomieliticheskikh polostei kostei nizhnikh konechnostei [Biochemical methods of assessment in the long-term periods of rehabilitation of patients by the method of controlled transosseous osteosynthesis for osteomyelitic cavities of the lower limb bones]. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiiskoi Akademii Nauk*, 2014, vol. 16, no. 5-5, pp. 1808-1811. (in Russian)
45. Popkov D.A., Kuznetsova L.S., Luneva S.N., Stogov M.V. Vozmozhnosti nagruzochnoi proby laktatom kaltsiya dlia otsenki sostoianiya kaltsii-reguliruyushchei gormonalnoi sistemy pri udlinenii konechnostei [The potentials of the tolerance test with calcium lactate to assess the calcium-regulating hormonal system state during limb lengthening]. *Genij Ortopedii*, 2005, no. 4, pp. 65-68. (in Russian)
46. Tushina N.V., Stogov M.V., Kononovich N.A., Emanov A.A. Prognoz dlitelnosti sozrevaniya distraktsionnogo regenerata [The prediction of the duration of the distraction regenerated bone maturation]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2012, no. 1 (63), pp. 49-54. (in Russian)
47. Menshchikova T.I., Novikov K.I. Ultrasonograficheskaya i rentgenologicheskaya otsenki strukturnogo sostoianiya distraktsionnogo regenerata bolshebertsovoi kosti [Ultrasound and X-ray assessment of the structural condition of the tibial distraction regenerated bone]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2005, no. 4 (38), pp. 57-59. (in Russian)
48. Saifutdinov M.S., Diachkov K.A., Korabelnikov M.A. Sopotavitelnyy analiz aktivatsionnykh kharakteristik myshts nizhnikh konechnostei do i posle ikh udlineniya metodom distraktsionnogo osteosinteza u bolnykh akhondroplaziei s dannymi kompiuternoi tomografii [The comparative analysis of the activation characteristics of lower limb muscles before and after their lengthening by distraction osteosynthesis method in patients with achondroplasia who have the data of computer tomography]. *Genij Ortopedii*, 2006, no. 3, pp. 73-77. (in Russian)
49. Aranovich A.M., Dyachkova G.V., Klimov O.V., Diachkov K.A., Neretin A.C. Metodiki tsifrovogo analiza rentgenologicheskogo izobrazheniya distraktsionnogo regenerata pri udlinenii golenei u bolnykh akhondroplaziei [The techniques of digital analysis of the X-ray image of distraction regenerated bone during leg lengthening in patients with achondroplasia]. *Fundamentalnye Issledovaniya*, 2015, no. 1-6, pp. 1115-1119. (in Russian)
50. Gaidyshev I.P. Programmnoe upravlenie apparatom Ilizarova [Program control of the Ilizarov fixator]. *Genij Ortopedii*, 2005, no. 3, pp. 97-101. (in Russian)
51. Krupchatnikov R.A., Mishustin V.N., Artemenko M.V., Dobrovolskii I.I. Metody diagnostiki i faktory riska prognoza tromboembolii v sistemakh podderzhki priinatsii reshenii [Diagnostic methods and risk factors of thromboembolism prediction in the systems of decision making support]. *Izvestiya Iugo-Zapadnogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe Priborostroenie*, 2017, vol. 7, no. 1 (22), pp. 69-81 (in Russian)
52. Simpson A.L., Ma B., Slagel B., Borschneck D.P., Ellis R.E. Computer-assisted distraction osteogenesis by Ilizarov's method. *Int. J. Med. Robot.*, 2008, vol. 4, no. 4, pp. 310-320. DOI: 10.1002/rcs.211.
53. Vinokurova T.S., Garkavenko Iu.E., Brytov A.V. Kliniko-neirofiziolicheskiy analiz funktsionalnogo sostoianiya perifericheskoi nervnoi sistemy u detei s posledstviyami gematogennoy osteomieliti pri udlinenii nizhnei konechnosti metodom distraktsionnogo osteosinteza [Clinical and neurophysiological analysis of the peripheral nervous system functional condition in children with hematogenous osteomyelitis consequences when lengthening the lower limb by the method of distraction osteosynthesis]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2008, no. 3 (49), pp. 30-34. (in Russian)
54. Grebenyuk L.A., Saifutdinov M.S., Grebenyuk E.B. Vozmozhnosti kompleksnogo ispolzovaniya ekhografii i elektromiografii v otsenke sostoianiya nervno-myshechnogo apparata pri operativnom udlinenii konechnostei [Possibilities of complex using echography and electromyography in the assessment of the neuromuscular system during surgical limb lengthening]. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2016, no. 1, pp. 33. (in Russian)
55. Menshchikova T.I., Aranovich A.M. Otsenka rezervnykh vozmozhnostei perednei gruppy myshts golenei u bolnykh akhondroplaziei v protsesse udlineniya (ultrazvukovoe issledovanie) [Evaluation of the reserve capacity of the leg anterior muscle group in patients with achondroplasia during lengthening (An ultrasound study)]. *Vestnik Travmatologii i Ortopedii im. N.N. Priorova*, 2015, no. 3, pp. 13-19. (in Russian)
56. Nogueira M.P., Paley D., Bhav A., Herbert A., Nocente C., Herzenberg J.E. Nerve lesions associated with limb-lengthening. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 2003, vol. 85, no. 8, pp. 1502-1510. DOI: 10.2106/00004623-200308000-00011.
57. Novikov K.I., Klimov O.V., Subramanyam K.N., Neretin A.S., Novikova O.S. Myotopography in Tibial Lengthening. *Arch. Bone Jt. Surg.*, 2018, vol. 6, no. 4, pp. 331-334.
58. Shchurov V.A., Popkov A.V., Aranovich A.M. Poliarograficheskii kontrol sostoianiya regionalnogo krovoobrashcheniya pri operativnom udlinenii golenei [Polarographic monitoring of regional circulation state during surgical leg lengthening]. *Genij Ortopedii*, 2015, no. 4, pp. 76-79. (in Russian) DOI: 10.18019/1028-4427-2015-4-76-79.
59. Kutepov S.M., Shlykov I.L., Berdiugina O.V., Berdiugin K.A., Kuznetsova N.L. Prognozirovanie vospalitelnykh oslozhnenii pri vneochagovom osteosinteze [Prediction of inflammatory complications for extrafocal osteosynthesis]. *Vestnik Travmatologii i Ortopedii im. V.D. Chaklina*, 2009, vol. 1, no. 1, pp. 44-46. (in Russian)

Рукопись поступила 05.03.2019

Сведения об авторах:

1. Аранович Анна Майоровна, д. м. н., профессор, ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
2. Стогов Максим Валерьевич, д. б. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, Email: stogo_off@list.ru
3. Киреева Елена Анатольевна, к. б. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
4. Менщикова Татьяна Ивановна, д. б. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, Email: tat-mench@mail.ru

Information about the authors:

1. Anna M. Aranovich, M.D., Ph.D., Professor, Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation
2. Maksim V. Stogov, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation, Email: stogo_off@list.ru
3. Elena A. Kireeva, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation
4. Tatiana I. Menshchikova, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation, Email: tat-mench@mail.ru