



Стимуляция дистракционного остеогенеза при удлинении конечностей: наша концепция

В.И. Шевцов¹, С.С. Леончук²

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Екатеринбург, Россия

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

Реферат

Актуальность. В настоящее время удлинение конечностей является широко распространенной операцией, используемой в клинической и косметической практике. Однако в процессе внедрения этой технологии вскрылись ее основные недостатки: длительность лечения и замедление процесса остеогенеза в зоне удлинения. Быстрая дистракция в аппарате или с помощью интрамедуллярного стержня может привести к замедлению остеогенеза и осложнениям со стороны мягких тканей, включая нейропатию и прорезывание мягких тканей. **Цель работы** — представить собственную концепцию стимуляции дистракционного остеогенеза при удлинении конечности, основанную на многолетнем клиническом опыте. **Материал и методы.** Данная работа основана на многолетнем опыте Центра им. Г.А. Илизарова удлинения конечностей (использованы данные клинических и экспериментальных исследований, выполненных в учреждении: более 200 животных и 8000 пациентов), а также данные литературы. **Результаты.** Внедрение рассмотренных способов стимуляции остеогенеза позволило заметно сократить сроки лечения больных и тем самым уменьшить число возможных осложнений, характерных для чрескостного остеосинтеза. Системные заболевания, врожденная аномалия развития сегмента могут отрицательно влиять на качество новой кости. **Выводы.** Использование способов стимуляции остеогенеза позволяет сократить сроки лечения и активизировать остеогенез при удлинении конечностей, что позволяет при необходимости проводить повторные удлинения сегмента без увеличения сроков лечения.

Ключевые слова: чрескостный остеосинтез, удлинение конечностей, дистракционный регенерат, стимуляция.

Источник финансирования: работа выполнена без спонсорской поддержки.

Шевцов В.И., Леончук С.С. Стимуляция дистракционного остеогенеза при удлинении конечностей: наша концепция. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(1):75-85. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1-75-85>.

Cite as: Shevtsov V.I., Leonchuk S.S. [Stimulation of Distraction Osteogenesis in Limb Lengthening: Our Concept]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(1):75-85. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1-75-85>.

Шевцов Владимир Иванович / Vladimir I. Shevtsov; e-mail: shevtcovvladimir3012@rambler.ru

Рукопись поступила/Received: 12.08.2020. Принята в печать/Accepted for publication: 15.02.2021.



Stimulation of Distraction Osteogenesis in Limb Lengthening: Our Concept

Vladimir I. Shevtsov¹, Sergey S. Leonchuk²

¹ Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

² Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia

Abstract

Background. Currently, limb lengthening is a widespread operation used in clinical and cosmetic practice. However, in the process of implementing this technology, its main drawbacks were revealed: the duration of treatment and the slowing down of the process of osteogenesis in the elongation zone. Rapid distraction in the external fixator or with an intramedullary rod can lead to a slowdown in osteogenesis and soft tissue complications, including neuropathy and soft tissue eruption. **The aim** — to develop a present its own concept of stimulating distraction osteogenesis in limb elongation, based on many years of clinical experience. **Materials and Methods.** This study is based on the long-term experience of the Ilizarov Center in limb lengthening (using data from clinical and experimental studies performed in the institution: more than 200 animals and 8000 patients), as well as literature data. Results. The introduction of the considered methods of stimulation of osteogenesis made it possible to significantly reduce the treatment time of patients and thereby reduce the number of possible complications characteristic of transosseous osteosynthesis. Systemic diseases, congenital malformation of the segment can negatively affect the quality of the new bone. **Conclusions.** The use of methods of stimulation of osteogenesis allows to reduce treatment time and increase osteogenesis when limb lengthening, which allows, if necessary, to provide re-lengthening of the segment without increasing treatment time.

Keywords: transosseous osteosynthesis, limb elongation, distraction regenerate, stimulation.

Funding: no funding or sponsorship was received for this study.

Введение

Более 50 лет назад Г.А. Илизаровым были разработана технология и аппарат для удлинения конечностей [1, 2, 3]. Однако широкое использование данной технологии с применением полилокального и полисегментарного остеосинтеза, особенно при системных заболеваниях скелета, а также при косметическом увеличении роста выявило новое осложнение, отмечаемое многими авторами, — замедленный остеогенез в зоне удлинения, что ведет к увеличению сроков лечения [4, 5, 6]. Так, по данным D. Dammerer с соавторами, у группы из 80 пациентов со средним возрастом 16,4 (4,0–69,8) лет при удлинении конечности средний период лечения (дистракции-консолидации) аппаратом внешней фиксации составил 57 дней/см [7]. Больные же ставят вопрос о сокращении продолжительности лечебного процесса. Механическое напряжение, создаваемое в тканях и контролируемое скоростью, ритмом дистракционных усилий, влияет на пролиферацию клеток и ангиогенез [3, 8, 9]. Быстрая дистракция в аппарате или с помощью интрамедуллярного стержня может привести к ослаблению остеогенеза и осложнениям со стороны мягких тканей, включая neuropathy и прорезывание мягких тканей.

При удлинении конечности с помощью механических устройств увеличение продольного размера сегмента происходит значительно быстрее его естественного роста. Таким образом, возможности организма истощаются, и регенерация в зоне удлинения замедляется или затухает полностью, поэтому при удлинении конечностей возникла необходимость проводить стимуляцию дистракционного остеогенеза (ДО).

Цель работы — представить собственную концепцию стимуляции дистракционного остеогенеза при удлинении конечности, основанную на многолетнем клиническом опыте.

Материал и методы

Данная работа основана на многолетнем опыте Центра им. Г.А. Илизарова в области удлинения конечностей (использованы данные клинических и экспериментальных исследований: более 200 животных и 8000 пациентов), а также на данных литературы. В настоящее время в клинике для сокращения сроков лечения пациентов с укорочениями конечностей и при системных заболеваниях скелета применяются полилокальные полисегментарные методики удлинения. Одностороннее удлинение двух сегментов на двух или трех уровнях

используется при значительном укорочении одной конечности или при выраженных деформациях конечностей. Параллельное удлинение двух сегментов на двух уровнях производится у больных ахондроплазией при удлинении плечевых сегментов и при удлинении голени при косметическом увеличении роста. Перекрестное удлинение сегментов конечностей используется для увеличения роста у больных ахондроплазией и при других системных заболеваниях.

В процессе обследования пациентов в предоперационном периоде использовались различные методы, в том числе нейрофизиологические исследования нервно-мышечного аппарата удлиняемых конечностей, состояние кровообращения и микроциркуляции, психологическое состояние пациентов [10, 11, 12]. При этом учитывались основные факторы, необходимые для удлинения конечностей, включающие способ нарушения целостности кости, темп и ритм distraction, технику distractionного остеосинтеза, способ стимуляции формирования distractionного регенерата.

Показанием для проведения стимуляции остеогенеза одним из способов является формирование регенерата в виде песочных часов, высота срединной прослойки 10 мм и более, низкая минерализация костных отделов при ультразвуковом исследовании.

Способы стимуляции остеогенеза

Самым простым способом стимуляции ДО является *механическая стимуляция*, включающий постепенную или одномоментную компрессию регенерата на 7–10 мм с силой 7–14 кг. Это приводит к соединению концов костных регенератов. В результате восстанавливается его целостность, увеличивается диаметр регенерата и повышается его механическая прочность. При самопроизвольном увеличении большими темпами distraction (до 8 «подкруток» (приемов) в день), выраженной внутренней торсии при варусных деформациях конечностей для стимуляции остеогенеза в зоне остеотомии показана так называемая «ротационная» компрессия distractionного регенерата [13]. Ее суть заключается в том, что в ходе дозированного удлинения сегмента и коррекции оси конечности аппаратом после 5–7 дней продольно-осевого перемещения фрагментов кости дополнительно осуществляют их дозированный наружный ротационный разворот относительно друг друга на величину 15–20°. При этом ротацию производят с темпом 2–3° в сутки, продолжая одновременно с этим осуществлять продольное перемещение фрагментов (дистрак-

цию). Происходит «отжимание жидкости» из регенерата, его костно-остеоидные балки сближаются между собой, и регенерат уплотняется.

Способ биомеханической стимуляции с использованием автоматической высокодетальной distraction и комбинированного остеосинтеза с применением интрамедуллярно вводимых спиц, покрытых гидроксиапатитом. При классическом удлинении величина distraction составляет 1 мм в день (distraction по 0,25 мм стержня за 4 приема в день), при автоматическом высокодетальном режиме величина distraction составляет также 1 мм по 0,017 мм за 60 приемов в сутки.

Для повышения эффективности стимуляции формирования distractionного регенерата возможно применение *фармакологических препаратов* [14, 15, 16, 17, 18, 19]. Обычно для этого используются репаратанты, биостимуляторы, миорелаксанты, витамины и другие. Например, при врожденных укорочениях и выраженном сопротивлении мягких тканей показано использование миорелаксантов для миорелаксации и, опосредованно, улучшения кровоснабжения и процесса костеобразования. Также при удлинении конечности возможно локальное применение ботулотоксина типа А для миорелаксации.

В зависимости от величины удлинения пациенту показаны один-два курса по 5–7 процедур *гипербарической оксигенации* (ГБО). Применение данного способа стимуляции остеогенеза при удлинении длинных трубчатых костей является приоритетом нашего Центра.

Для стимуляции остеогенеза при удлинении конечности возможно локальное использование *низкочастотного импульсного ультразвука* на область регенерата и электростимуляции мышц конечности* [20, 21, 22, 23].

Биологический способ стимуляции ДО включает использование клеток костного мозга или плазмы больного [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31]. Способ, при котором используются стволовые клетки, известен под названием *stem cell therapy*. Для этого производится забор клеток костного мозга с последующей имплантацией их в зону срединной прослойки регенерата. Забор костного мозга обычно производится из крыла подвздошной или метафиза неоперированной бедренной или большеберцовой кости. После забора и отмывания в питательном солевом растворе клеток костного мозга они вводятся в срединную зону регенерата. Для стимуляции остеогенеза возможно использование инъекций обогащенной тромбоцитами плазмы. Кровь берется из вены на операционном столе, центрифугируется. Выполняется забор плазмы

* Пат. 2152200 РФ, МПК А 61 Н 39/04 Способ стимуляции репаративного остеогенеза при distractionном остеогенезе и устройство для его осуществления/В.И. Шевцов (РФ), А.Н. Ерохин (РФ). №97119393/14; Заявлено 25.11.97; Оpubл. 10.07.2000. 24 стр.

в количестве 5–7 мл и вводится в толщу срединной прослойки, регенерата. Для точного введения клеток или плазмы в срединную прослойку необходимо использовать иглы-метки. На операционном столе пальпаторно определяется расположение прослойки и по ее верхнему и нижнему контурам внутрикожно во фронтальной плоскости вводятся две иглы. Затем производится контрольная рентгенография. Используя полученные рентгенологические данные, шприцом вводится плазма или клетки костного мозга в центральную часть прослойки регенерата. При этом необходимо учесть глубину введения иглы — она должна пройти через кожу. Далее учитывается толщина кортикальной пластинки и погружение иглы на 10 мм в глубину прослойки.

Обсуждение

Внедрение предложенных способов стимуляции остеогенеза позволило заметно сократить сроки лечения больных и тем самым уменьшить число возможных осложнений, характерных для чрескостного остеосинтеза.

В настоящее время техника удлинения конечностей достаточно широко используется как лечебное и косметическое вмешательство. Требования сегодняшнего дня — сокращение сроков формирования дистракционного регенерата и полноценной кости. Чтобы выполнить эти требования, следует понять биологическую разницу процесса консолидации при переломе и удлинении кости.

При переломе травма носит одномоментный характер. После иммобилизации конечности при переломе болевые ощущения снижаются, восстанавливается кровообращение поврежденной конечности и включаются механизмы восстановления целостности кости. Согласно теории А. Вегера, образовавшаяся после перелома гематома, покрывающая концы отломков, является стимулирующим фактором костеобразования [32]. В результате развивается веретенообразная костная мозоль, что приводит к восстановлению целостности кости. О сходствах и различиях процессов, происходящих в организме при переломе и ДО, говорят и другие авторы [33]. ДО биологически напоминает заживление перелома с отличительными характеристиками в периоде удлинения кости [33] и включает три периода: латентный, период дистракции и консолидации.

При удлинении конечности сначала наносится травма — остеотомия кости, аналог перелома. Изменения в латентный период остеогенеза соответствуют изменениям при переломе кости в результате травмы. В латентной фазе, как и в восстановительном периоде при переломе, высвобождаются интерлейкины, которые взаимодействуют с факторами роста, выделяющимися

из тромбоцитов при локальной гематоме, приводя к пролиферации и дифференцировке мезенхимальных стволовых клеток в остеобласты и другие дифференцированные клетки [33]. При дистракции идет хроническая травматизация тканей, а гематома смещается в образующийся диастаз. Поэтому роль гематомы как стимулятора костеобразования при удлинении утрачивается, а идущие следом репаративные процессы не успевают восстановить целостность кости и соединить концы отломков между собой. Это связано с высокой скоростью увеличения физических размеров сегментов при удлинении.

Для более четкого понимания вышеуказанного объясним это на примере. Длина голени новорожденного ребенка составляет 12 см, взрослого — 34 см. Прирост за 15 лет составляет 22 см, или в год 1,5 см, в месяц — 0,125 см. При использовании разработанных устройств скорость удлинения конечности составляет 3–4 см в месяц, т.е. скорость роста повышается в 24 раза (3/0,125 см). При такой скорости роста потенциальные возможности организма быстро истощаются, и организм нуждается в помощи, проведении стимулирующих процедур.

Как известно, рост длинных костей в естественных условиях идет за счет двух ростовых хрящевых пластинок. Г.А. Илизаров говорил, что «мы должны учиться у природы, подражать ей», поэтому в результате изучения процессов развития скелета в онтогенезе и повторения природных механизмов роста была разработана технология удлинения конечностей одновременно на двух уровнях, двух и более сегментов [2, 3]. Однако одновременное удлинение двух и более сегментов, повторное удлинение быстро истощают восстановительные ресурсы организма, и это приводит к замедлению или полному затуханию регенераторного процесса.

Немаловажен для удлинения кости способ нарушения ее целостности. При щадящих способах нарушения целостности кости (минимальные разрезы кожи и травматизация мягких и костной тканей) остеогенез идет лучше. Мы не производим нарушение целостности кости в зоне *a. nutricia*, что обеспечивает сохранение нормального кровообращения дистальной части конечности. С целью снижения травматичности операционной травмы в Центре им. Г.А. Илизарова разработано пять основных способов [1, 34, 35]: дистракционный эпифизеолиз, остеотомия, частичная кортикотомия, «закрытая» флекссионная остеоклазия, безударная остеоклазия. После нарушения целостности кости идет период адаптации (латентный период), который продолжается 5–7 сут.

После адаптации следует период дистракции. Для удлинения кости может быть использован один из темпов дистракции аппаратом: 1 мм в день за один прием (применим для проведения

экспериментальных исследований), 1 мм в день — дистракция по 0,25 мм стержня за 4 приема в день, 1 мм в день — по 0,017 мм 60 раз в сутки (автоматический режим). Темп дистракции 1 мм в день является наиболее благоприятным для остеогенеза. Больным рекомендуется производить функциональную нагрузку на оперированную конечность. Клинические и экспериментальные исследования показали, что физиологическая нагрузка является одним из стимулирующих факторов формирования кровеносных сосудов и тем самым остеогенеза [9, 14, 36].

После завершения периода дистракции и достижения плановых показателей удлинения производится контрольная рентгенография, аппарат переводится в режим фиксации. После изучения рентгенограмм оценивается состояние дистракционного регенерата. Обращается внимание на форму регенерата, высоту срединной прослойки, плотность костных отделов регенерата у концов костных фрагментов.

Для стимуляции остеогенеза Г.А. Илизаров предлагал постепенную компрессию регенерата по $\frac{1}{4}$ мм 4 раза в день в течение 8–10 дней [35]. Это он называл «функциональным воспитанием регенерата». Данный способ стимуляции остеогенеза в последующем использовали и другие авторы [37, 38]. С целью сокращения сроков фиксации В.И. Шевцов и А.В. Попков усовершенствовали методику Г.А. Илизарова и предложили в 1994 г. одномоментную «острую» компрессию дистракционного регенерата*. Практика показала, что одномоментная компрессия является значительно эффективнее постепенной. Способ механической стимуляции остеогенеза используется в Центре им. Г.А. Илизарова и в настоящее время [39, 40], но в связи с тем, что после компрессии больные не хотят терять достигнутое удлинение, данный способ остеогенеза, по нашему мнению, следует считать «резервным».

Способ «ротационной» компрессии регенерата применен у 12 пациентов с варусными деформациями конечностей в сочетании с небольшими удлинениями (по 3–4 см) [13]. При этом способе механической стимуляции сроки фиксации кости сократились на 7–10% по сравнению с аналогичными пациентами, пролеченными без использования данной технологии [13]. Так как сегодня этот способ стимуляции ДО используется в Центре им. Г.А. Илизарова относительно редко, его также следует отнести к «резервным».

Казалось бы, компрессия регенерата — достаточно простая механическая процедура, но за рубежом, видимо, из-за недостаточной информа-

ции о работах Центра им. Г.А. Илизарова, эта технология нередко видоизменяется. Так, например, А.М. Makhdom с соавторами через 4,5 нед. после операции (диапазон от 3 до 7 нед.) после рентгенологически установленного отсутствия или слабо развитого регенерата для стимуляции остеогенеза использовали «аккордеонный маневр» (The Accordion Maneuver) [41]. Способ включает дистракцию утром на 0,25 мм, затем днем компрессию на 0,25 мм, а в вечернее время выполняли вновь дистракцию на 0,25 мм. Суточное удлинение составляло 0,25 мм. Данная методика была использована у 4 (6,15%) пациентов в возрасте 16,5 лет (диапазон от 10 до 20 лет) из 65 обследованных. Общий период дистракции составлял в среднем 12,5 нед., среднее достигнутое удлинение было 3,92 см, т.е. достигалось удлинение 1 см в мес. Средний индекс заживления составил 75,38 сут./см. Авторы сообщают, что «аккордеонный маневр» позволяет запустить процесс заживления кости. Однако они также указывают на то, что в литературе нет информации, как и когда применять комбинацию сил компрессии и дистракции.

При ослаблении остеогенеза ряд авторов рекомендуют терапию бисфосфонатами или кальций-содержащими препаратами [17, 18, 19]. Бисфосфонаты ингибируют костную резорбцию. В Центре им. Г.А. Илизарова проведены экспериментальные исследования для изучения стимулирующего эффекта бисфосфонатов и, по нашему мнению, данный способ стимуляции остеогенеза требует дальнейших дополнительных исследований. Возможно также использование других способов фармстимуляции [15] (например, гормоны, BMP, VEGF, TIMP), но мы их в нашей практике не использовали.

При удлинении конечностей мягкотканые структуры оказывают сопротивление увеличению продольных размеров сегмента [9]. Это сопротивление в меньшей мере выражено при посттравматических и постинфекционных укорочениях, так как при этом мягкотканый аппарат адаптирован к реальным размерам сегмента. При врожденных укорочениях в мышечном массиве имеется значительное количество соединительнотканной и хрящеподобной тканей, оказывающих выраженное сопротивление растяжению, а сам процесс удлинения сопровождается болевой реакцией. В этих случаях показано использование медикаментов для миорелаксации и, опосредованно, улучшения кровоснабжения и процесса костеобразования. При назначении миорелаксантов пациенты легче переносят процесс дистракции.

* Патент РФ 94013185, заявка от 13.04.1994. Способ стимуляции репаративного процесса кости. Авторы В.И. Шевцов, А.В. Попков.

Как известно, после травмы (остеотомии) развивается гипоксия тканей. Формирование новой кости напрямую зависит от снабжения тканей кислородом и значительно выше при нормоксических условиях [42]. Положительное влияние ГБО на регенерацию тканей доказано экспериментально на животных и в клинической практике [43, 44]. ГБО кислородом стимулирует процессы остеогенеза при удлинении конечностей, ликвидирует ишемию, развивающуюся в тканях, повышает насыщение их кислородом, улучшает обменные процессы, о чем свидетельствует исчезновение отеков и болевых ощущений [45, 46].

А.М. Аранович и Н.В. Сазонова провели исследование влияния ГБО на лечебный процесс 35 больных ахондроплазией в возрасте от 7 до 14 лет [46]. Основная группа включала 16 пациентов, которым в послеоперационном периоде проводились сеансы ГБО, группа сравнения — 19 детей, в процессе лечения которых ГБО не использовалась. В обеих группах для удлинения использовался билочальный бисегментарный distractionный остеосинтез. Величина удлинения составила $9,93 \pm 0,47$ см (47,85% исходной длины голени). Положительный эффект ГБО проявлялся в ликвидации или значительном уменьшении болевых ощущений, уменьшении отеков оперированной конечности, улучшении функции коленного сустава, значительно меньше были индекс фиксации и индекс остеосинтеза у детей основной группы.

Мы рекомендуем применять биологический способ стимуляции ДО, включающий использование клеток костного мозга или плазмы больного [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31]. Как правило, через 2 нед. после введения биологического субстрата определяется заметное уплотнение регенерата, что позволяет в последующем раньше получить сращение и снять аппарат. Комплекс экспериментальных исследований, проведенных в Центре им. Г.А. Илизарова [25], а также работы в других учреждениях [27, 28, 31] свидетельствуют о стимулирующем влиянии на процессы костеобразования аутологичного костного мозга, введенного в соединительнотканную прослойку distractionного регенерата. При этом следует отметить, что в рамках экспериментального исследования В.И. Шевцова с соавторами [25] к концу периода distraction высота прослойки достигала в среднем 8–10 мм, ее доля в регенерате составляла 26%. Через 7 дней фиксации (после стимуляции) в половине экспериментальных случаев регенерат утратил зональное строение, что позволило через 14 дней снять аппарат Илизарова.

Экспериментальные исследования показали, что инъекции обогащенной тромбоцитами плазмы при ДО ускоряют консолидацию костного регенерата [26, 30].

Мы рекомендуем использовать биологические способы стимуляции остеогенеза во второй половине процесса distraction. Это вызовет ускорение созревания distractionного регенерата, что позволит сократить время фиксации. Более раннее назначение стимуляторов может вызвать преждевременную консолидацию костных фрагментов.

Разработанный в Центре им. Г.А. Илизарова способ биомеханической стимуляции остеогенеза с использованием высокодетальной автоматической distraction и комбинированного остеосинтеза с применением интрамедуллярно вводимых спиц, покрытых гидроксиапатитом, улучшает фиксацию костных фрагментов, обеспечивает плавность (без рывков) удлинения, предупреждает развитие вторичных деформаций, стимулирует остеогенез, что ведет к заметному сокращению сроков лечения [39, 47, 48, 49, 50, 51]. При этом больные не отмечают болевых ощущений, сохраняется полная подвижность в смежных суставах. В процессе удлинения гидроксиапатит переходит со спиц в окружающие ткани, что ускоряет процесс минерализации регенерата. В настоящее время введение спиц в костномозговой канал удлиняемых костей сегментов конечностей является одним из основных приемов для стимуляции остеогенеза [52, 53].

При клинических исследованиях использования комбинированного остеосинтеза у детей с врожденной и приобретенной патологией верхних и нижних конечностей выявлено снижение времени лечения на 7 дней на каждый сантиметр удлинения [54]. При использовании комбинированного остеосинтеза (аппарат Илизарова и интрамедуллярные спицы с гидроксиапатитным покрытием) при удлинении и коррекции деформаций у больных болезнью Олье отмечено сокращение периода лечения на 8 дней на каждый сантиметр удлинения [55]. Экспериментальные и биомеханические исследования [48, 49, 51, 53, 56] показали, что комбинированный остеосинтез (аппарат в сочетании с интрамедуллярным остеосинтезом) не нарушает принципов метода Илизарова: эластичность и стабильность фиксации, сохранение интрамедуллярной циркуляции, которая стимулирует эндостальную и периостальную перестройку, возможность выбора оптимального темпа удлинения и коррекции деформации сегмента (рис. 1).

Важно отметить, что у пациентки из предложенных в статье способов стимуляции ДО в процессе лечения использован комбинированный остеосинтез с интрамедуллярными спицами на бедре, а также пероральные миорелаксанты. Индекс остеосинтеза бедра составил 22,5 дня/см, индекс фиксации — 12,3 дня/см, лечение голени выполнили на втором этапе (одномоментная коррекция деформации и фиксация аппаратом Илизарова в течение 56 дней).

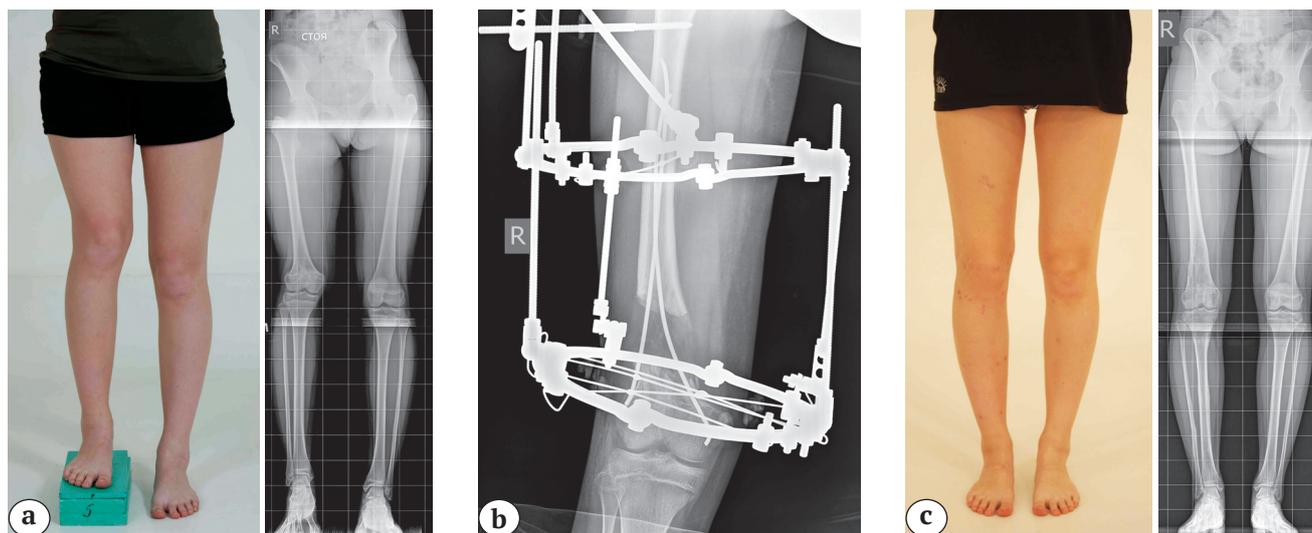


Рис. 1. Фото и рентгенограммы пациентки, 13 лет:
 а — до лечения (укорочение правой нижней конечности 7 см, вальгусно-антекурвационная деформация правого бедра, варусная деформация правой голени);
 б — рентгенограмма правого бедра в процессе удлинения и коррекции деформации;
 с — результат через 1 год после нашего лечения

Figure 1. Patient, 13 y.o.:

а — before treatment (shortening of the right lower limb 7 cm, valgus antecurvatum deformity of the right femur, varus deformity of the right shin);
 б — X-ray of the right femur in the process of lengthening and correction of deformity;
 с — the result in a year after our treatment

Некоторые авторы предлагают удлинение конечности с помощью интрамедуллярного стержня [5, 6, 57, 58]. Следует учесть, что данная технология достаточно дорогая, а имплантируемый интрамедуллярный стержень может быть использован у детей после закрытия зоны роста [58].

Ряд авторов предлагают удлинение с использованием молатеральной конструкции или пластины [59, 60, 61]. Во время операции для удлинения сегмента конечности мы обязательно создаем запас кожи — смещаем кожу внутрь контура аппарата, а опоры для их фиксации стараемся установить как можно дальше друг от друга на метафизарные уровни. Это делается для того, чтобы уменьшить прорезывание мягких тканей проведенными спицами. При использовании молатеральных конструкций нарушается основной постулат Г.А. Илизарова о малотравматичности вмешательства и легкой переносимости операций пациентами. При удлинении молатеральными аппаратами быстро развивается дефицит кожи, возникает ее прорезывание стержнями-шпурками, что вызывает сильнейшие боли и может быть дополнительным источником инфекционных осложнений, а также ведет к развитию нейропатий в 82,9–89,9% случаев.

Ряд авторов предлагают использовать гексаподы для удлинения и коррекции деформаций конечностей [4, 7, 62, 63]. По сути, на данные конструкции накладываются технологии, разработанные Г.А. Илизаровым и созданной им школой. Однако при их применении возникает необходимость детальной проработки соответствующего программного обеспечения, без которого они крайне невыгодны в использовании.

Заключение

Комплексное использование указанных в статье способов стимуляции дистракционного остеогенеза позволяет решить актуальный на сегодняшний день вопрос о сокращении сроков лечения пациента. Мы рекомендуем для качественного улучшения технологии удлинения конечностей и сокращения сроков лечения пациентов более широко внедрять удлинение кости аппаратом Илизарова в автоматическом режиме с использованием интрамедуллярных спиц. При этом следует использовать по показаниям различные способы стимуляции дистракционного остеогенеза.

Информированное согласие

Законные представители пациентки дали добровольное согласие на публикацию клинического наблюдения.

Литература [References]

- Илизаров Г.А., Девятков А.А. Оперативное удлинение голени с одновременным устранением деформаций. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 1969;(3):32-37.
Ilizarov G.A., Deviatov A.A. [Surgical lengthening of the shin simultaneous correction of deformities]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye* [Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics]. 1969;(3):32-37. (In Russian).
- Илизаров Г.А. Основные принципы чрескостного компрессионного и дистракционного остеосинтеза. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 1971;(11):7-15.
Ilizarov G.A. [Basic principles of transosseous compression and distraction osteosynthesis]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye* [Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics]. 1971;(11):7-15. (In Russian).
- Ilizarov G.A. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I: the influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(238):249-281.
- Sheridan G.A., Fragomen A.T., Rozbruch S.R. Integrated Limb Lengthening Is Superior to Classical Limb Lengthening: A Systematic Review and Meta-analysis of the Literature. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*. 2020;4(6):e20.00054. doi: 10.5435/JAOSGlobal-D-20-00054.
- Burghardt R.D., Manzotti A., Bhave A., Paley D., Herzenberg J.E. Tibial lengthening over intramedullary nails: A matched case comparison with Ilizarov tibial lengthening. *Bone Joint Res*. 2016;5(1):1-10. doi: 10.1302/2046-3758.51.2000577.
- Farsetti P., De Maio F., Potenza V., Efremov K., Marsiolo M., Caterini A., Ippolito E. Lower limb lengthening over an intramedullary nail: a long-term follow-up study of 28 cases. *J Orthop Traumatol*. 2019;20(1):30. doi: 10.1186/s10195-019-0538-y.
- Dammerer D., Kirschbichler K., Donnan L., Kaufmann G., Krismer M., Biedermann R. Clinical value of the Taylor Spatial Frame: a comparison with the Ilizarov and Orthofix fixators. *J Child Orthop*. 2011;(5):343-349. doi: 10.1007/s11832-011-0361-3.
- Шевцов В.И., Ирьянов Ю.М. Остеогенез и ангиогенез при дистракционном остеосинтезе. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 1995;119(7):95-99.
Shevtsov V.I., Ir'yanov Yu.M. [Osteogenesis and angiogenesis for distraction osteosynthesis]. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]. 1995;119(7):95-99 (In Russian).
- Шевцов В.И. Регенерация и рост тканей в условиях воздействия на них дозированных направленных механических нагрузок. *Вестник Российской Академии медицинских наук*. 2000;(2):19-23.
Shevtsov V.I. [Regeneration and growth of tissues under the influence of dosed directed mechanical loads on them]. *Vestnik Rossiiskoi Akademii meditsinskikh nauk* [Annals of the Russian Academy of Medical Sciences]. 2000;(2):19-23. (In Russian).
- Горбач Е.Н., Кононович Н.А. Внутрикостная гемодинамика большеберцовой кости при автоматическом удлинении голени с темпом 3 мм в сутки за 120 приемов. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2017;103(11):1303-1314.
Gorbach E.N., Kononovich N.A. Intraosseous hemodynamics in the tibia by automated tibial lengthening with the rate of 3 mm a day for 120 steps. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova* [Russian Journal of Physiology]. 2017;103(11):1303-1314. (In Russian).
- Горбач Е.Н., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н., Степанов М.А., Горбач Е.С. Особенности формирования костного регенерата, структурных изменений суставного хряща и большеберцового нерва в условиях автоматического удлинения голени по Илизарову с темпом 3 мм с применением ахиллотомии (экспериментальное исследование). *Гений ортопедии*. 2018;24(4):507-514. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-4-507-514.
Gorbach E.N., Stupina T.A., Varsegova T.N., Stepanov M.A., Gorbach E.S. [Peculiarities of bone regenerate formation, structural changes in joint cartilage and tibial nerve in the conditions of 3-mm automatic distraction of the tibia with the ilizarov method and application of achillotomy (experimental study)]. *Genij Ortopedii*. 2018;24(4):507-514. (In Russian). doi:10.18019/1028-4427-2018-24-4-507-514.
- Шевцов В.И., Асонова С.Н., Наумов А.Д., Ерофеев С.А., Гордиевских Н.И., Кузнецова Л.С., Филимонова Г.Н. Состояние сосудистого бассейна мышц конечности при разных режимах удлинения (морфо-функциональное исследование). *Гений ортопедии*. 1997;(2):5-11.
Shevtsov V.I., Asonova S.N., Naumov A.D., Erofeev S.A., Gordievskikh N.I., Kuznetsova L.S., Filimonova G.N. [The state of the vascular pool of the muscles of the limbs with different modes of lengthening]. *Genij Ortopedii*. 1997;(2):5-11. (In Russian).
- Новиков К.И., Климов О.В. Компактизация дистракционного регенерата при удлинении длинных трубчатых костей методом дистракционного остеосинтеза. *Гений ортопедии*. 2007;(3):19-21.
Novikov K.I., Klimov O.V. [The compaction of regenerate bone in lengthening of long tubular bones by distraction osteosynthesis method]. *Genij Ortopedii*. 2007;(3):19-21. (In Russian).
- Шевцов В.И. Чрескостный остеосинтез по Илизарову: теория и практика. *Palmarium academic publishing*; 2018. Т. 3. 430 с.
Shevtsov V.I. [Transosseous osteosynthesis by Ilizarov: theory and practice]. *Palmarium academic publishing*; 2018. Vol. 3. 430 p. (In Russian).
- Шевцов В.И., Новиков К.И., Менщикова Т.И., Аранович А.М. Использование фармакологической коррекции в процессе удлинения конечностей у больных ахондроплазией. *Гений ортопедии*. 2002(1):15-18.
Shevtsov V.I., Novikov K.I., Menshchikova T.I., Aranovich A.M. [Use of pharmacological correction in the course of lengthening of extremities at patients with an achondroplasia]. *Genij Ortopedii*. 2002;(1):15-18. (In Russian).
- Ghiasi M.S., Chen J., Vaziri A., Rodriguez E.K., Nazarian A. Bone fracture healing in mechanobiological modeling: A review of principles and methods. *Bone Rep*. 2017;6:87-100. doi: 10.1016/j.bonr.2017.03.002.
- Kiely P., Ward K., Bellemore M.C., Briody J., Cowell C.T., Little D.G. Bisphosphonate rescue in distraction osteogenesis. A case series. *J Pediatr Orthop*. 2007;27(4):467-471. doi: 10.1097/01.bpb.0000271326.41363.d1.
- Alp Y.E., Taskaldiran A., Onder M.E., Karahan S., Kocyigit I.D., Atil F., Tekin U. Effects of Local Low-Dose

- Alendronate Injections Into the Distraction Gap on New Bone Formation and Distraction Rate on Distraction Osteogenesis. *J Craniofac Surg.* 2017;28(8):2174-2178. doi: 10.1097/SCS.0000000000002615.
19. Григорьян А.С., Брайлловская Т.В., Варда Н.С., Гурия А.Н. Новообразование костной ткани в критических дефектах свода черепа крыс под влиянием комплекса, содержащего бисфосфонат алендронат натрия. *Стоматология.* 2017;96(1):8-11
Grigoryan A.S., Brayulovska T.V., Varda N.S., Gurin A.N. [Formation of bone in critical calvarias defects in rats under the influence of bisphosphonate alendronate na complex]. *Stomatologiya* [Stomatology]. 2017;96(1):8-11. (In Russian).
 20. Song M.H., Kim T.J., Kang S.H., Song H.R. Low-intensity pulsed ultrasound enhances callus consolidation in distraction osteogenesis of the tibia by the technique of lengthening over the nail procedure. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):108. doi: 10.1186/s12891-019-2490-7.
 21. Leppik L., Oliveira K.M.C., Bhavsar M.B., Barker J.H. Electrical stimulation in bone tissue engineering treatments. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2020;46(2):231-244. doi: 10.1007/s00068-020-01324-1.
 22. Raza H., Saltaji H., Kaur H., Flores-Mir C., El-Bialy T. Effect of low-intensity pulsed ultrasound on distraction osteogenesis treatment time: a meta-analysis of randomized clinical trials. *J Ultrasound Med.* 2016;35(2):349-358. doi: 10.7863/ultra.15.02043.
 23. Шейн А.П., Ерохин А.Н., Новиков К.И. Влияние электростимуляции на произвольную и вызванную биоэлектрическую активность мышц при удлинении нижних конечностей у больных с ахондроплазией. *Гений ортопедии.* 1995;(2): 23-26.
Shein A.P., Erokhin A.N., Novikov K.I. [The effect of electrical stimulation on voluntary and induced bioelectric muscle activity during lengthening of the lower extremities in patients with achondroplasia]. *Genij Ortopedii.* 1995;(2):23-26. (In Russian).
 24. Илизаров Г.А., Палиенко Л.А., Переслыцких П.Ф., Галанова Р.И., Толмачева С.В. К вопросу об участии стромальных клеток-предшественников костного мозга и регенерации кости при чрескостном остеосинтезе. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 1980;89(4):489-490.
Ilizarov G.A., Palienko L.A., Pereslytskikh P.F., Galanova R.I., Tolmacheva S.V. [Participation of bone marrow stromal precursors cells and bone regeneration during transosseous osteosynthesis. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]. 1980;89(4):489-490. (In Russian).
 25. Шевцов В.И., Ерофеев С.А., Мигалкин Н.С., Осипова Е.В. Стимуляция костным мозгом остеогенеза в distractionном регенерате (экспериментальное исследование). *Гений ортопедии.* 2003;(3):131-137.
Shevtsov V.I., Yerofeyev S.A., Migalkin N.S., Osipova E.V. [Stimulation of osteogenesis in the distraction regenerate bone with bone marrow (experimental study)]. *Genij Ortopedii.* 2003;(3):131-137. (In Russian).
 26. Ali A.M., El-Alfy B., Amin M., Nematalla M., El-Shafaey S.A. Can platelet-rich plasma shorten the consolidation phase of distraction osteogenesis? An experimental study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2015;25(3):543-548. doi: 10.1007/s00590-014-1542-9.
 27. Jin Y.Z., Lee J.H. Mesenchymal Stem Cell Therapy for Bone Regeneration. *Clin Orthop Surg.* 2018;10(3):271-278. doi: 10.4055/cios.2018.10.3.271.
 28. Harford J.S., Dekker T.J., Adams S.B. Bone Marrow Aspirate Concentrate for Bone Healing in Foot and Ankle Surgery. *Foot Ankle Clin.* 2016;21(4):839-845. doi: 10.1016/j.fcl.2016.07.005.
 29. Cuthbert R.J., Jones E., Sanjurjo-Rodríguez C., Lotfy A., Ganguly P., Churchman S.M. et al. Regulation of Angiogenesis Discriminates Tissue Resident MSCs from Effective and Defective Osteogenic Environments. *J Clin Med.* 2020;9(6):1628. doi: 10.3390/jcm9061628.
 30. Гребнева О.Л., Самусенко Д.В., Ковинька М.А., Лунева С.Н. Компоненты фракционированной плазмы крови и их роль в механизме оптимизации репаративного остеогенеза. *Гений ортопедии.* 2013;(2):102-105.
Grebneva O.L., Samusenko D.V., Kovin'ka M.A., Luneva S.N. [Components of fractionated blood plasma and their role in the mechanism of reparative osteogenesis optimization]. *Genij Ortopedii.* 2013;(2):102-105. (In Russian).
 31. Склянчук Е.Д., Зоря В.И., Гурьев В.В., Васильев А.П. Остеогенные потенции нативного аутогенного костного мозга, индуцированного кристаллическим химотрипсином, при лечении посттравматических нарушений костной регенерации. *Травматология и ортопедия России.* 2009;(1):42-49.
Sklyanchuk E.D., Zorya V.I., Guriev V.V., Vasiliev A.P. [Osteogenic potencies of native autogenic marrow induced crystalline chymotrypsin in treatment of posttraumatic abnormalities of bone regeneration]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2009;(1):42-49. (in Russian).
 32. Bier A.. Über Knochenregeneration, über Pseudarthrosen und über Knochentransplantate. *Langenbecks Arch Klin Chir.* 1923;127:1-136. (In German).
 33. Hvid I., Horn J., Huhnstock S., Steen H. The biology of bone lengthening. *J Child Orthop.* 2016;10(6):487-492. doi: 10.1007/s11852-016-0780-2.
 34. Илизаров Г.А., Соибельман Л.М. Некоторые клинико-экспериментальные данные бескровного удлинения нижних конечностей. *Экспериментальная хирургия и анестезиология.* 1969;4:27-32.
Ilizarov G.A., Soibelman L.M. Some clinical and experimental data of bloodless lengthening of the lower extremities. *Eksperimental'naya khirurgiya i anesteziologiya* [Experimental surgery and anesthesiology]. 1969;4:27-32. (In Russian).
 35. Moore D.C., Leblanc C.W., Muller R., Crisco J.J. 3rd, Ehrlich M.G. Physiologic weight-bearing increases new vessel formation during distraction osteogenesis: a micro-tomographic imaging study. *J Orthop Res.* 2003;21(3):489-496.
 36. Илизаров Г.А. Возможности управления регенеративным и формообразовательным процессами в костной и мягкой тканях. В кн.: *Проблемы чрескостного остеосинтеза в ортопедии и травматологии* : сборник научных трудов. Курган; 1982. Вып. 8. с. 5-18.
Ilizarov G.A. [The possibilities of controlling regenerative and shape-formative processes in bone and soft tissues]. V kn.: *Problemy chreskostnogo osteosinteza v ortopedii i travmatologii* : *sbornik nauchnykh trudov* [In: Problems of transosseous osteosynthesis in orthopedics and traumatology: a collection of scientific papers]. Kurgan; 1982. Vol. 8. p. 5-18 (In Russian).
 37. Стецула В.И., Пустовойт М.И., Бруско А.Т. Экспериментальное обоснование управляемых динамических нагрузок в активизации перестройки distractionного регенерата. *Ортопедия, травматология и протезирование.* 1987;(10):70-72.

- Stetsula V.I., Pustovoyt M.I., Brusko A.T. [Experimental ground of the operated dynamic loads in activation of reorganization of distraction regenerate]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie* [Orthopedics, Traumatology and Prosthetics]. 1987;(10):70-72. (In Russian).
38. Соломин Л.Н. Общие принципы ведения послеоперационного периода. В кн.: *Основы чрескостного остеосинтеза* / под ред. Л.Н. Соломина. Москва : БИНОМ; 2015. Т. 3. С. 1421-1441.
Solomin L.N. [General principles of postoperative management]. In: *Osnovy chreskostnogo osteosinteza* [Basics of transosseous osteosynthesis]. Ed. by L.N. Solomin. Moscow : BINOM; 2015. Vol. 3. p. 1421-1441.
39. Shevtsov V., Popkov A., Popkov D., Prévot J. [Reduction of the period of treatment for leg lengthening. Technique and advantages]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2001;87(3):248-256. (In French).
40. Borzunov D.Y., Shastov A.L. 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.
41. Makhdom A.M., Cartaleanu A.S., Rendon J.S., Villemure I., Hamdy R.C. The Accordion Maneuver: A Noninvasive Strategy for Absent or Delayed Callus Formation in Cases of Limb Lengthening. *Adv Orthop.* 2015;2015:912790. doi: 10.1155/2015/912790.
42. Sun X., Wei Y. The role of hypoxia-inducible factor in osteogenesis and chondrogenesis. *Cytotherapy.* 2009;11(3):261-267. doi: 10.1080/14653240902824765.
43. Park K.M., Kim C., Park W., Park Y.B., Chung M.K., Kim S. Bone Regeneration Effect of Hyperbaric Oxygen Therapy Duration on Calvarial Defects in Irradiated Rats. *Biomed Res Int.* 2019;2019:9051713. doi: 10.1155/2019/9051713.
44. Звягин Г.В., Зезикова Е.И., Ромасенко М.В. Организация и принципы работы отделения ГБО в структуре многопрофильного стационара скорой медицинской помощи. *Многопрофильный стационар.* 2019;6(1):23-26.
Zvyagin G.V., Zezikova E.I., Romasenko M.V. [Organization and principles of work of the hyperbaric oxygenation department in the structure of a multidisciplinary emergency hospital]. *Mnogoprofil'nyi stacionar.* 2019;6;1(9):23-26. (In Russian).
45. Попков А.В., Сазонова Н.В., Кузнецова Л.С., Попков Д.А. Влияние гипербарической оксигенации на состояние биоэнергетических процессов при удлинении конечностей. *Гений ортопедии.* 2001;(4): 49-52.
Popkov A.V., Sazonova N.V., Kuznetsova L. S., Popkov D.A. [The effect of hyperbaric oxygenation on the condition on bioenergy proces ses in the process of limb lengthening]. *Genij Orthopedii.* 2001;(4):49-52. (In Russian).
46. Аранович А.М., Сазонова Н.В. Особенности проведения ГБО при удлинении конечностей у детей с ахондроплазией. *Гений ортопедии.* 2005;(2):29-31.
Aranovich A.M., Sazonova N.V. [The peculiarities of HBO performance during limb lengthening in children with achondroplasia]. *Genij Orthopedii.* 2005;(2):29-31. (In Russian).
47. Шевцов В.И., Попков А.В., Ерофеев С.А., Чиркова А.М. Автоматический дистракционный остеосинтез. *Анналы травматологии и ортопедии.* 1995;(1):44-47.
Shevtsov V.I., Popkov A.V., Erofeev S.A., Chirkova A.M. [Automatic distraction osteosynthesis]. *Annaly travmatologii i ortopedii* [Annals of Traumatology and Orthopaedics]. 1995;(1):44-47. (In Russian).
48. Shevtsov V.I., Popkov A.V., Popkov D., Yerofeev S., Prévot J., Lascombes P. [Elastic stable intramedullary nailing in Ilizarov bone lengthening]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2004;90(5):399-410. (In French).
49. Шевцов В.И., Ерофеев С.А., Горбач Е.Н., Еманов А.А. Особенности костеобразования при удлинении голени автоматическими дистракторами с темпом 3 мм за 180 приемов (экспериментальное исследование). *Гений ортопедии.* 2006;(1):10-16.
Shevtsov V.I., Yerofeyev S.A., Gorbach E.N., Yemanov A.A. [Osteogenesis features for leg lengthening using automatic distractors with the rate by 3 mm for 180 times (an experimental study)]. *Genij Orthopedii.* 2006;(1): 10-16. (In Russian).
50. Шевцов В.И., Попков А.В., Попков Д.А., Мурадисинов С.О. Удлинение нижних конечностей в автоматическом режиме. *Гений ортопедии.* 1999;(3): 20-24.
Shevtsov V.I., Popkov A.V., Popkov D.A., Muradisinov S.O. [Elongation of lower limbs by an automatic mode]. *Genij Orthopedii.* 1999;(3):20-24. (In Russian).
51. Шевцов В.И., Ирьянов Ю.М., Петровская Н.В., Ирьянова Т.Ю. Влияние кальций-фосфатного покрытия спиц на процессы минерализации и активность остеогенеза при чрескостном дистракционном остеосинтезе. *Морфологические ведомости.* 2008;(3-4):231-234.
Shevtsov V.I., Irianov Y.M., Petrovskaya N.V., Irianova T.Y. [The effect of calcium phosphate coating of wires on the process of mineralization and osteogenesis activity for transosseous distraction osteosynthesis]. *Morfologicheskie vedomosti* [Morphological Newsletter]. 2008;(3-4):231-234. (In Russian).
52. Leonchuk S.S. Lengthening of femur by combined osteosynthesis: a case report. *Med Clin Rev.* 2017;(3):1. doi: 10.21767/2471-299X.1000045.
53. Popkov D., Lascombes P., Journeau P., Popkov A. Current approaches to flexible intramedullary nailing for bone lengthening in children. *J Child Orthop.* 2016;10(6):499-509. doi: 10.1007/s11832-016-0781-1.
54. Popkov D., Popkov A., Haumont T., Journeau P., Lascombes P. Flexible intramedullary nail use in limb lengthening. *J Pediatr Orthop.* 2010;30(8):910-918. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181f0eaf9.
55. Popkov D., Journeau P., Popkov A., Haumont T., Lascombes P. Ollier's disease limb lengthening: should intramedullary nailing be combined with circular external fixation? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2010;96(4):348-353. doi: 10.1016/j.otsr.2010.01.002.
56. Popkov D.A., Popkov A.V., Kononovich N.A., Barbier D., Ceroni D., Journeau P., Lascombes P. Experimental study of progressive tibial lengthening in dogs using the Ilizarov technique. Comparison with and without associated intramedullary K-wires. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(7):809-814. doi: 10.1016/j.otsr.2014.06.021.
57. Horn J., Hvid I., Huhnstock S., Breen A.B., Steen H. Limb lengthening and deformity correction with externally controlled motorized intramedullary nails: evaluation of 50 consecutive lengthenings. *Acta Orthop.* 2019;90(1):81-87. doi: 10.1080/17453674.2018.1534321.
58. Herzenberg J. E., Paley D. Tibial lengthening over nails (LON). *Tech Orthop.* 1997; 12(4):250-259.
59. Szymczuk V.L., Hammouda A.I., Gesheff M.G., Standard S.C., Herzenberg J.E. Lengthening With Monolateral External Fixation Versus Magnetically Motorized Intramedullary Nail in Congenital Femoral Deficiency. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(9):458-465. doi: 10.1097/BPO.0000000000001047.

60. Bisaccia M., Rinonapoli G., Meccariello L., Caraffa A., Cukierman B., Iborra J.R. The Challenges of Monoaxial Bone Transport in Orthopedics and Traumatology. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2017;19(4):373-378. doi: 10.5604/01.3001.0010.4646.
61. Tosun H.B., Agir I., Gumustas S., Serbest S., Uludag A., Celik S. Tibial Lengthening Using a Fixator-Assisted Lengthening Plate: A New Technique. *Trauma Mon.* 2016;21(5):e25340. doi: 10.5812/traumamon.25340.
62. Pesenti S., Iobst C.A., Launay F. Evaluation of the external fixator TrueLok Hexapod System for tibial deformity correction in children. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(5):761-764. doi: 10.1016/j.otsr.2017.03.015.
63. Horn J., Steen H., Huhnstock S., Hvid I., Gunderson R.B. Limb lengthening and deformity correction of congenital and acquired deformities in children using the Taylor Spatial Frame. *Acta Orthop.* 2017;88(3):334-340. doi: 10.1080/17453674.2017.1295706.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Шевцов Владимир Иванович — д-р мед. наук, профессор, член-кор. РАН, главный научный сотрудник института травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Екатеринбург, Россия
shevtcovvladimir3012@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7051-8065>

Леончук Сергей Сергеевич — канд. мед. наук, заведующий травматолого-ортопедическим отделением, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
leon4yk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0883-9663>

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHORS' INFORMATION:

Vladimir I. Shevtsov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of Russian Scientific Academy, Chief Researcher, Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia
shevtcovvladimir3012@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7051-8065>

Sergey S. Leonchuk — Cand. Sci. (Med.), Head of the Orthopedic Department, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia
leon4yk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0883-9663>