История

© Группа авторов, 2016.

УДК 61(092 Илизаров)+616.71-001.5-089.84

DOI 10.18019/1028-4427-2016-2-6-12

Научное наследие академика Г.А. Илизарова: взгляд из прошлого в будущее (часть I) (95-летию со дня рождения академика Г.А. Илизарова, 65-летию метода чрескостного остеосинтеза по Илизарову посвящается)

А.В. Губин, Д.Ю. Борзунов, Л.О. Марченкова, И.Л. Смирнова

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

Academician G.A. Ilizarov's scientific heritage: a look into the future from the past (part I) (devoted to 95th anniversary of Academician G.A. Ilizarov, 65th anniversary of the transosseous osteosynthesis method according to Ilizarov)

A.V. Gubin, D.Iu. Borzunov, L.O. Marchenkova, I.L. Smirnova

FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Kurgan

На основе анализа трудов академика РАН Г.А. Илизарова представлена его концепция стимулирующего влияния напряжения растяжения на генез и рост тканей опорно-двигательной системы. Показаны выявленные закономерности и механизмы неогенеза костной, мышечной, нервной ткани, а также сосудов и нервов. Трудами Г.А. Илизарова доказано, что рост и регенерация тканей под действием напряжения растяжения и в условиях адекватности кровоснабжения и нагрузки (Эффект Илизарова) происходит аналогично процессу естественного роста в онтогенезе. Ключевые слова: открытие Илизарова, управляемый чрескостный остеосинтез, аппарат Илизарова.

Based on the analysis of works of G.A. Ilizarov, Academician of RAS, his concept of stimulating effect of tension stress on genesis and growth of tissues on the locomotor system presented in the work. The identified regularities and mechanisms of neogenesis of bone, muscular, nervous tissues, as well as that of vessels and nerves demonstrated. It is G.A. Ilizarov's works that proved the fact that tissue growth and regeneration under the influence of tension stress and under blood supply and load adequacy (the Ilizarov Effect) occurs similarly to the process of natural growth in ontogenesis.

Keywords: Ilizarov's discovery, controlled transosseous osteosynthesis, the Ilizarov fixator.

«...даже самое фундаментальное открытие — только веха, а не финиш на пути научного прогресса. И не может быть ничего почетнее для ученого, тем более медика, чем постоянное стремление к новым открытиям, служащим улучшению состояния здоровья, а значит и счастью людей...»

Г.А. Илизаров

Исторически сложилось так, что каждая эпоха в жизни человеческого сообщества ознаменована созданием бессмертных произведений живописи, поэзии, музыки, архитектуры, а также уникальными научными открытиями, позволяющими человечеству встать на новую ступень развития и созидания. Именно к таким величайшим достижениям в области биологии, травматологии и ортопедии второй половины XX века можно с уверенностью отнести открытие академика РАН Гавриила Абрамовича Илизарова «Общебиологическое свойство тканей отвечать на дозированное растяжение ростом и регенерацией (Эффект Илизарова) [1].

Впервые на первом Всесоюзном съезде травматологов ортопедов (1963 г.) Г.А. Илизаров в своем выступлении сообщил о положительном влиянии растяжения костных фрагментов на остеогенез [2]. Проведенные под его руководством в последующем комплексные фундаментальные медико-биологические и медико-инженерные исследования подтвердили установленное ранее явление активизации роста и регенерации тканей под влиянием напряжения растяжения, создаваемого с помощью дистракционного аппарата. Выявленные общебиологические закономерности, в частности: стимулирующее влияние напряжения растяжения на рост, регенерацию и дифференцировку костной и мягких тканей, а также адекватность кровоснабжения и нагрузки, проявляются при создании комплекса оптимальных механических и биологических условий и имеют как важное теоретическое, так и прикладное значение [3-5]. На их основе разработаны многочисленные методики лечения повреждений и заболеваний опорно-двигательной системы, большинство из которых, не имеют аналогов в мировой практике. Все это привело к созданию официально признанного нового научно-практического направления «Управляемый чрескостный остеосинтез», позволило отечественной ортопедии и травматологии занять лидирующее положение в мире и заставило в корне пересмотреть привычные представления и подходы к лечению различной патологии опорно-двигательной системы врожденного и приобретенного генеза.

Прбин А.В., Борзунов Д.Ю., Марченкова Л.О., Смирнова И.Л. Научное наследие академика Г.А. Илизарова: взгляд из прошлого в будущее (часть I) (95-летию со дня рождения академика Г.А. Илизарова, 65-летию метода чрескостного остеосинтеза по Илизарову посвящается) // Гений ортопедии. 2016. № 1. С. 6-12.

Как все новое и нетрадиционное, предложенный метод прошел тернистый путь становления, порой не находя сторонников и единомышленников, вызывая недоумение и непонимание в научных кругах, вынесших в свое время вердикт о «слесарном» подходе к медицине. Но время все расставило на свои места, и сегодня метод чрескостного остеосинтеза по Илизарову занял достойное место в мировой медицинской науке. Объективными предпосылками столь успешного продвижения метода было, с одной стороны, заложенное в самой идее воспроизведение механизмов естественного роста и развития живых тканей, с другой стороны — универсальность конструкции аппарата, способной обеспечить благоприятные условия морфогенеза.

Идея создания аппарата возникла у Г.А. Илизарова в середине сороковых годов прошлого века, когда в послевоенные годы появилась острая необходимость реабилитации участников военных действий. Постепенно идея воплотилась в реальность. В 1952 году конструкция первого аппарата и способ сращивания костей были заявлены в качестве изобретения: «1. Способ сращивания костей при переломах путем введения в подлежащие сращиванию кости парных спиц и стягивания последних винтами до плотного соприкосновения костей, отличающийся тем, что с целью предотвращения боковых смещений сращиваемых костей парные спицы вводят в кости так, чтобы они перекрещивались. 2. Аппарат для осуществления способа, отличающийся тем, что он

выполнен в виде двух разъемных колец, удерживающих пропущенные через сращиваемые кости парные спицы и соединенных между собой посредством стягивающих спицы винтов...» (рис. 1)

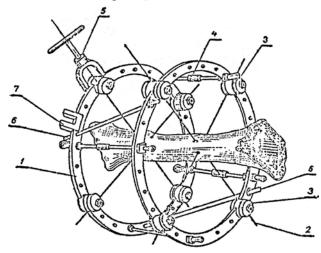


Рис. 1. Конструкция первого аппарата Илизарова [6]

В дальнейшем гениальное изобретение дало толчок к разработке многочисленных конструкций и способов лечения костной патологии. Однако требовалось подтверждение выявленных закономерностей и всестороннее изучение процессов, происходящих в тканях под действием напряжения растяжения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА

Многочисленными экспериментальными исследованиями, выполненными под руководством Г.А. Илизарова, установлено, что при дозированном растяжении живых тканей возникающее в них напряжение растяжения возбуждает и поддерживает активную регенерацию и рост тканевых структур [7]. Во всех тканях отмечается повышение уровня энергетического обмена, пролиферативной и биосинтетической активности клеток, коллагено- и эластогенеза. Изучение реакции биологических тканей на дозированное растяжение раскрыло неизвестные ранее огромные возможности целенаправленного выращивания тканей и зависимость качественных и количественных их характеристик от кровоснабжения, темпов и ритмов дистакции, а при остеогенезе - и от степени повреждения остеогенных элементов трубчатой кости (косного мозга, эндоста, надкостницы), питательной артерии, а также жесткости фиксации костных отломков [8-11].

Выполненные экспериментальные исследования показали, что при полном рассечении костного мозга и а. nutricia с помощью остеотомии и наличии подвижности костных отломков наблюдали резкое замедление костеобразования с формированием в диастазе фиброзно-хрящевой ткани с локальными кровоизлияниями. В условиях стабильной фиксации отмечали высокую активность остеогенеза и классическое формирование регенерата. Наибольшую активность остеогенеза наблюдали при максимальной сохранности остеогенных тканей с выполнением остеоклазии[12-13].

Детальное изучение формирующегося регенерата на ультраструктурном уровне позволило получить неизвестные ранее знания о его зональном строении с наличием центральной зоны, являющейся источником роста костной ткани. В средней части зоны роста располагаются фибробластоподобные клетки, образующие продольно ориентированные коллагеновые волокна, на основе которых в периферических ее отделах формируются остеоидные, остеоидно-костные и костные балки [14-15].

Высокая активность остеогенеза подтверждена и метаболическими характеристиками зоны роста при изучении динамики активности маркеров остеогенеза (щелочная фосфатаза) и маркеров энергообеспечения процесса регенерации (лактатдегидрогеназа) [16].

При изучении ультраструктуры дистракционного регенерата и трубчатых костей в период естественного роста в области, где приложены усилия растяжения, установлена общность морфологических признаков, свидетельствующих о сходстве процессов ангиогенеза под влиянием напряжения растяжения в регенерате и в растущих костях. Также было показано, что более активный ангиогенез наблюдался в зонах, где приложение дистракционных усилий было максимальным.

Таким образом, было доказано, что формирование новой кости в условиях напряжения растяжения протекает аналогично механизмам роста и перестройки костей у растущего организма, заложенным самой природой [17].

Доказав возможность формирования новообразованной кости, было необходимо выявить и обеспечить оптимальные условия для протекания процесса остеогенеза. С этой целью в экспериментальных исследованиях были апробированы различные режимы удлинения (темп, ритм, направление дистракции), варианты нарушения целостности кости для последующего уд-

линения (остеотомия, остеоклазия, кортикотомия), а также приемы механического и биологического воздействия на регенерат. Доказано, что при ручном режиме удлинения оптимальным является темп 1 мм в сутки за 4 приема, при суточном удлинении на бо́льшую величину даже при сохранении остеогенных элементов процесс новообразования кости менее выражен и отстает от темпа дистракции [10].

Изучение процесса ангиогенеза при формировании продольного дистракционного регенерата трубчатой кости с образованием большого количества сосудов различного калибра не только в костной, но и окружающих тканях явилось предпосылкой для проведения экспериментальных исследований по восполнению сосудистого русла при ишемии конечностей. Была изучена взаимосвязь регионарного, в том числе внутрикостного, кровотока и репаративных процессов. Было доказано, что формирование отщепов трубчатых костей (в случаях, когда нет необходимости удлинения) и поперечная тракция позволяют значительно обогатить сосудистое русло и стимулировать периферическое кровообращение конечностей. При этом вновь образованные сосуды между отщепом и материнской костью ориентированы поперечно, тогда как при удлинении кости они имеют продольную ориентацию, согласно вектору приложения дистракционных усилий. Кроме того, появилась возможность утолщения костей, что в определенных клинических ситуациях является методом, позволяющим моделировать форму сегмента конечности и замещать обширные дефекты парных костей (предплечье, голень) [18-22].

В последующем серией экспериментов было доказано, что напряжение растяжения оказывает стимулирующий эффект не генез и рост тканей не только при прямом воздействии, но и опосредованно через биологические ткани (межкостная мембрана, сухожилия, костные трансплантаты) и субстанции небиологического происхождения, например, металл [23].

Дальнейшие экспериментальные исследования показали, что особенности формирования и органотипической перестройки дистракционного костного регенерата длинных трубчатых костей характерны для плоских и губчатых костей. Были разработаны и экспериментально апробированы методики замещения дефектов костей свода черепа путем дозированного перемещения в зоне дефекта свободных (полнослойных) костных фрагментов, свежих и консервированных аутотрансплантатов, вываренных аллотрансплантатов и ксенотрансплантатов, а также несвободных (на питающей ножке) полнослойных и расщепленных костных фрагментов в условиях сохранения, а также частичного или полного иссечения или изоляции твердой мозговой оболочки в области формирования регенерата. Изучены особенности формирования костного регенерата при различной протяженности преддистракционного периода и различных темпах дистракции. В результате проведенных исследований установлена принципиальная возможность формирования дистракционного регенерата при перемещении в дефекте свежих аутотрансплантатов из трубчатых и плоских костей, а также консервированных аутотрансплантатов. При этом между краями перемещаемого фрагмента (трансплантата) и дефекта формируется регенерат, представленный двумя костными отделами и соединительнотканной зоной роста, как это наблюдается на трубчатых костях. В серии экспериментов изучена роль твердой мозговой оболочки в регенерации плоских костей черепа. Доказано, что при иссечении или изоляции твердой мозговой оболочки в зоне замещаемого дефекта наблюдается замедление процесса остеогенеза. Дистракционный регенерат при этом формируется за счет потенциальных возможностей остеогенных элементов материнской кости и перемещаемого фрагмента. В случаях же когда недоразвит диаплоэтический слой плоской кости основным источником остеогенеза является поверхностный слой твердой мозговой оболочки [24].

В конце семидесятых – восьмидесятых годах прошлого столетия Г.А. Илизаров уделял большое внимание экспериментальным разработкам применения его метода в хирургии позвоночника. Был разработан ряд методик моделирования разноплоскостных деформаций позвоночного столба, позволивших получить новые знания о механизмах их развития в процессе роста живого организма, а также варианты их коррекции. Изучены особенности и разработаны безопасные способы стабильной внешней управляемой фиксации, предложены различные варианты компрессионно-дистракционных устройств для экспериментальных целей, а также тактико-технологические приемы проведения фиксаторов в анатомические структуры позвонков (тела, остистые отростки, дужки) с определением безопасных зон введения. Разработанные методики открыли широкие возможности целенаправленного влияния на формообразовательные процессы анатомических образований позвоночника. Впервые в мире получен дистракционный регенерат тела позвонка с целью увеличения его продольных размеров, что является исключительно важным моментом при коррекции патологических состояний, сопровождающихся потерей костной массы. Формирование дистракционных регенератов дужек позволило увеличивать диаметр позвоночного канала до 100 % от исходной величины. Разработанные способы переднего спондилодеза открыли новые возможности для замещения межпозвонкового диска без использования имплантов биологического и небиологического происхождения путем формирования в межтеловом пространстве клиновидного регенерата. Всесторонние комплексные исследования подтвердили безопасность разработанных способов и доказали возможность стимулирующего влияния напряжения растяжения на регенерацию губчатой кости с формированием дистракционных регенератов классической зональной структуры и последующей трансформацией в зрелую губчатую кость. Проведенные экспериментальные исследования явились теоретической базой для внедрения в хирургию позвоночника. Разработанные технические принципы и приемы легли в основу создания аппарата наружной транспедикулярной фиксации для позвоночника человека, запатентованного в 1985 году [25-31].

Следует подчеркнуть, что под влиянием напряжения растяжения происходит активный гистогенез и рост не только костей и кровеносных сосудов, но и мышц, фасций, сухожилий, нервов, кожи и других тканей. В серии экспериментов под влиянием растяжения получены дистракционные регенераты пересеченных мышц, на ранних этапах представленные структурами

развивающейся мышечной ткани с последующей их дифференцировкой. Доказано, что аналогично протекает дистракционный гистогенез и в неповрежденных скелетных мышцах при удлинении конечностей. При этом активные процессы новообразования и роста тканей во взрослом организме при приложении дистракционных усилий во многом сходны с процессами, происходящими в эмбриональном и постнатальном периодах, т.е. подчиняясь общебиологическим закономерностям. В экспериментальных условиях доказано, что неогенез мышечной ткани при воздействии напряжения растяжения, как и онтогенезе, происходит несколькими путями: за счет вставочного роста предшествовавших мышечных волокон вследствие активизации энергетических и биосинтетических механизмов; путем новообразования мышечных волокон, а также путем выделения из состава мышечных волокон ядерно-саркоплазматических участков с последующей дифференцировкой в новые мышечные волокна [32-37].

Сравнительное изучение структуры фасций в период естественного роста и при воздействии дистракции показало общность происходящих процессов, характеризующихся значительным повышением биосинтетической активности фибробластов со значительным увеличением объема как самих клеток, так и их ядер, эндоплазматического ретикулума и поверхности его цистерн. Кроме того, отмечается значительно более высокий уровень межклеточной интеграции фибробластов фасций [38].

В серии экспериментов по изучению формирования иннервационного аппарата в процессе дистракционного остеогенеза получены новые данные о неоднозначной реакции компонентов, образующих нервные стволы, в связи со сложной структурной организацией нервной ткани. Подобно мышечной ткани в проводниковой части нервов генез происходит за счет образования новых волокон и в результате вставочного роста ранее существующих. Характерной особенностью новообразования как в условиях естественного роста, так и при дистракции является наличие конусов роста аксонов, группирующихся на поверхности существующих волокон и окруженных отростками леммоцитов и их базальной мембраной с постепенным формированием мезаксонов и последующей дифференцировкой в безмякотные и мякотные (миелиновые) волокна. Наряду с новообразованием, дифференцировкой и вставочным ростом нервных волокон происходит рост оболочек нервных стволов, проявляющийся формированием характерных комплексов из функционально активных митохондрий с гипертрофированным гранулярным эндоплазматическим ретикулумом. Активизация биосинтетических процессов в клетках оболочек нервных стволов обеспечивает их собственный рост, а также формирование межклеточного матриска со строго продольной ориентацией, соответствующей направлению приложения дистракционных усилий или естественного роста [39-41].

Проведенные экспериментальные исследования доказали, что под влиянием напряжения растяжения активизируются биосинтетические процессы в коже и ее придатках. Неогенез обеспечивается, в первую очередь, за счет камбиальных элементов (клетки базального слоя). При дисракции значительно возрастает число волосяных фолликулов, сальных и потовых желез. Полученные данные позволили в дальнейшем возмещать без трансплантации большие дефекты кожи, формировать запас кожи, необходимый при решении определенных клинических задач, без свободной пересадки кожи [42].

Целенаправленное изучение электронномикроскопическим, биохимическими, гистохимическими и другими методами мягких тканей конечностей в процессе дистракции четко подтвердило стимулирующее влияние напряжения растяжения на их регенерацию и рост, позволило установить основные направления этого влияния: через цитостромальные и межклеточные контакты на цитоскелет, энергетический и биосинтетический аппарат клеток, их пролиферативную активность [43].

Таким образом, в результате выполненных исследований получено неоспоримое подтверждение общности процессов роста тканей в онтогенезе и под влиянием напряжения растяжения, создаваемого аппаратом, что позволяет сделать заключение о его высокой биологической, анатомической и физиологической адекватности.

Для обоснования технических характеристик компрессионно-дистракционного аппарата и безопасных вариантов фиксации под руководством Г.И. Илизарова были проведены комплексные биомеханические исследования, разработаны методики расчета спиц на жесткость, колец и полуколец на жесткость и прочность, предложена методика контроля напряженно-деформированного состояния системы «аппарат-конечность». Изучены механические свойства аппарата, его деталей, узлов, условия передачи на кость нагрузок, создаваемых аппаратом, в зависимости от натяжения, угла и уровня проведения спиц, а также от строения и механических свойств различных отделов кости. Установлены эмпирические законы распределения основных механических характеристик прочности материала спиц и определены их наиболее вероятные значения. Показано, что жесткость спиц в аппарате определяется рядом факторов: диаметр, материал, из которого она изготовлена, расстояние между внутренней кромкой опоры и поверхностью кости, а также силы натяжения. При этом сила натяжения спиц диаметром 1,5 мм не должна превышать 150 кг. Доказано, что фиксирующая способность аппарата в значительной степени зависит от расстояния между опорами, уменьшаясь при их сближении. Установлено, что усилия, возникающие в опорах аппарата от действия сил натяжения спиц и сил прилагаемой дистракции и компрессии, зависят от варианта компоновки аппарата, величины угла перекрещивания спиц, радиуса опор, количества стержней, соединяющих опоры и их расположения. Максимальный запас прочности кольцевых опор имеет место при угле перекреста 90° и симметричном расположении четырех стрежней [44-47].

Завершить данный раздел статьи хочется цитатой из книги «Сохранить память» одного из сподвижников Г.А. Илизарова, соавтора аппарата транспедикулярной фиксации позвоночника А.М. Мархашова: «Почему путь Илизарова в науке сопровождался отчаянной борьбой?... Борьба возникала из-за того, что он шел дорогой, по которой не ходил ни один ученый... Этот путь был совершенно не изведан... Каждый метр дороги он укладывал научными фактами, подтверждающими его идеи». 1

¹ Мархашов А.М. Сохранить память. Записки медика-исследователя. Курган-Екатеринбург: Издание газеты «Штерн», 1999. 111 с. (С. 13-14).

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Общебиологическое свойство тканей отвечать на дозированное растяжение ростом и регенера-цией (Эффект Илизарова) / Илизаров Г.А.: Диплом ОТ 355 (СССР). № 11271. Заявл. 25.12.1985. Опубл. 23.04.1989. Бюл. "Откр. изобрете¬ния". 1989; 15: 1. (Приоритет от 24.09.1970).
- Илизаров Г.А. Наш опыт остеосинтеза аппаратом автора // Тезисы докладов 1-го Всероссийского съезда травматологов и ортопедов СССР. М., 1963. С. 166-168.
- 3. Илизаров Г.А. Возможности управления регенеративным и формообразовательным процессами в костной и мягкой тканях // Сборник научных трудов. Курган, 1982. Вып. 8. С. 5-18.
- 4. Илизаров Г.А. Значение факторов напряжения растяжения в генезе тканей и формообразовательных процессах при чрескостном остеосинтезе // Сборник научных трудов. Курган, 1984. Вып.9. С. 4-41.
- 5. Ilizarov G.A. The tension- stress effect on the genesis and growth of tissue: P.II. The influence of the rate and frequency of distraction // Clin. Orthop. Relat Res. 1989. No 239. P. 263-285.
- Способ сращивания костей при переломах и аппарат для осуществления этого способа / Илизаров Г.А.: А.С. № 98471 (СССР); № 102/17-762/4 17962; Заявл. 09.06.1952; Опубл. 17.08.1954. Бюл. изобретений. 1954. С. 6.
- 7. Илизаров Г.А., Ледяев В.И., Имерлишвили И.А. Некоторые данные по изучению морфологических особенностей процесса костеобразования в условиях стабильного дистракционного остеосинтеза // Сборник научных работ. Курган, 1972. Вып. 1. С. 217-237.
- Ультраструктурные особенности эластогенеза в магистральных артериях тазовой конечности собаки при удлинении голени / Г.А. Илизаров, Ю.М. Ирьянов, Р.С. Мигалкин, Н.В. Петровская // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1987. Т. 93, № 9. С. 94-98.
- 9. Илизаров Г.А., Ирьянов Ю.М. Особенности остеогенеза в условиях напряжения растяжения // Бюл. эксперим. биол. мед. 1991. Т. 111, № 2. С.194-
- 10. Шрейнер А.А., Чиркова А.М., Ерофеев С.А. Формирование дистракционного регенерата при различных темпах удлинения конечности в эксперименте // Сборник научных трудов. Курган, 1985. Вып. 10. С. 148-154.
- Илизаров Г.А., Шрейнер А.А., Имерлишвили И.А. Новые данные об остеогенных возможностях костного мозга диафиза // Ортопедия травматология и протезирование. 1993. № 4. С. 5-7.
- 12. Илизаров Г.А., Шрейнер А.А. Закрытая остеотомия трубчатых костей в эксперименте // Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции «Теоретические и практические аспекты чрескостного компрессионного и дистракционного остеосинтеза». Курган, 1976. С. 38-40.
- 13. Илизаров Г.А., Шрейнер А.А. Новый метод флексионной остеоклазии (экспериментальное исследование) // Ортопедия травматология и протезирование. 1979. № 1. С. 9-14.
- 14. Имерлишвили И.А., Бахлыков Ю.Н., Дьячкова Г.В. Морфо-гистохимическая характеристика ранних стадий дистракционного регенерата // Тематический сборник научных трудов. Курган, 1980. Вып. 6. С. 90-96.
- 15. Илизаров Г.А., Имерлишвили И.А., Бахлыков Ю. Н. Особенности репаративного костеобразования при различных условиях дистракционного остеосинтеза по Илизарову // Сборник научных трудов. Курган, 1982. Вып. 8. С. 27-33.
- 16. Биохимические аспекты регенерации костной ткани при компрессионно-дистракционном остеосинтезе / В.Н. Матвеенко, А.Н. Гайдамак, К.С. Десятниченко, Л.С. Кузнецова, Н.П. Лепехова // Сборник научных трудов. Курган, 1981. Вып. 7. С. 80-89.
- 17. Илизаров Г.А., Ирьянов Ю.М. Ультраструктурная характеристика кровеносных капилляров костного регенерата в раннем периоде его формирования в условиях его дистракции // Тематический сборник научных трудов. Курган, 1980. Вып. 6. С. 82-90.
- 18. Способ удлинения и утолщения голени и предплечья / Илизаров Г.А. : А.С. 564859(СССР). №2320829/13. Заявлено11.03.76. Опубликовано.15.07.77. Бюл. 26. С. 8.
- 19. Петровская Н.В., Барабаш А.П., Петров А.П. Особенности перестройки артериального русла голени при изменении формы диафиза большеберцовой кости // Сборник трудов Свердловского НИИТО. Л., 1982. С. 52-58.
- 20. Илизаров Г.А., Ирьянов Ю.М., Петровская Н.В. Морфо-функциональные особенности остеогенных клеток дистракционного регенерата // Сборник научных трудов. Курган, 1988. Вып. 13. С. 3-11.
- 21. Ilizarov G.A., Asonova S.N. Ultrastructural aspects of angiogenesis in fasciae of skeletal muscles in lengthening with the Ilizarov technique // Orthop. Genius. 1993. No1. P. 1-5.
- 22. Шевцов В.И., Ирьянов Ю.М. Остеогенез и ангиогенез при дистракционном остеосинтезе // Бюл. эксперим. биол. мед. 1995. Т. 119, № 7. С. 95-99.
- Рентгенологические особенности перестройки свободного аутотрансплантата при замещении обширного дефекта кости по способу Илизарова-Барабаша-Хелимского / А.П. Барабаш, А.А. Ларионов, Н.П. Барабаш, Ю.С Кочетков //Сборник научных трудов КНИИЭКОТ. Курган, 1982. Вып. 8. С. 39-46.
- 24. Регенерация костей черепа при чрескостном остеосинтезе / В.И. Шевцов, А.Н. Дьячков, А.М. Чиркова, Ю.М. Ирьянов. М.: Медицина, 2005. 168
- 25. Илизаров Г.А., Мархашов А.М., Имерлишвили И.А. Влияние асимметричных нагрузок на структуру позвоночника (экспериментальное исследование) // Сборник научных трудов. Курган, 1982. Вып. 8. С. 159-164.
- 26. Устройство для лечения искривлений и повреждений позвоночника / Илизаров Г.А., Мархашов А.М.: А.С. 1448432 (СССР). N 3854923/28 -14; Заявлено 06.02.85. ДСП.
- 27. Устройство для лечения переломов позвонков / Илизаров Г.А., Мархашов А.М.: А.С. 1711860 (СССР). N 4722143/14. Заявлено 29.06.87.Опубл. 15.02.92. Бюл. 6. С. 27.
- 28. Устройство для лечения спондилолистеза / Илизаров Г.А., Мархашов А.М.: А.С. 1768147 (СССР). N 4297073/14. Заявлено 11.08.87. Опубл. 15.07.92. Бюл. 38. С. 16.
- 29. Способ моделирования сколиоза при незаконченном росте позвоночника / Илизаров Г.А.: А.С. 1654861 (СССР). N 4702233/14; Заявл. 08.06.89. Опубл. 07.06.91. Бюл. 21. С. 206.
- 30. Способ моделирования формы позвоночного канала / Илизаров Г.А.: А.С. 1760885(СССР). N 4803963/14; Заявлено 19.03.90. ДСП.
- 31. Способ моделирования переднего спондилодеза поясничных позвонков / Илизаров Г.А.: А.С. 1823674 (СССР). N 4917098/14. Заявлено 07.03.91. ДСП.
- 32. Чикорина Н.К. Об источниках роста и регенерации скелетных мышц в условиях дозированного растяжения // Тезисы докладов республиканской конференции «Структура и биомеханика скелетно-мышечной и сердечно-сосудистой системы позвоночных». Киев, 1984. С. 160-161.
- 33. Чикорина Н.К., Иванова А.И. Динамика морфологических перестроек мышечного регенерата при замещении по Илизарову дефекта передней большеберцовой мышцы в эксперименте // Сборник научных трудов. Курган, 1982. Вып. 8. С. 65-71.
- 34. Щуров В.А. Иванова Т.И., Богомягков В.С. Зависимость кровоснабжения голени от ее продольных размеров и биомеханических свойств скелетных мышц // Физиология человека. 1984. Т.10, № 2. С. 281-286.
- 35. Ультраструктура миофибробластов и цитоскелета в тканях удлиняемой конечности / Г.А. Илизаров, Ю.М. Ирьянов, Н.К. Чикорина, С.Н. Асонова, И.И. Мартель //Сборник научных трудов. Курган, 1982. Вып. 8. С. 33-39.
- 36. Бунов В.С., Беркуцкая Т.С., Палкина Т.А. Результаты клинико-гистологических исследований мышц при моделировании ишемии конечности в эксперименте // Сборник научных трудов. Курган, 1984. Вып. 9. С. 192-196.
- 37. Илизаров Г.А., Наумов А.Д., Чикорина Н.К. Влияние дозированного растяжения аппарата Илизарова на структурно-функциональное состояние скелетной мышцы в эксперименте // Тезисы докладов Всесоюзной конференции с участием иностранных специалистов. Курган, 1991. С.290-293.
- 38. Морфологические изменения и морфометрические показатели фасций голени, удлиняемой в разных условиях дистракции в эксперименте / Г.А. Илизаров, Н.С. Шеховцова, В.И. Калякина, Н.В. Петровская // Сборник научных трудов. Курган, 1989. Вып. 14. С.12-26.
- 39. Илизаров Г.А., Карымов Н.Р. Ультраструктурные механизмы новообразования нервных волокон в условиях дозированной дистракции // Сборник научных трудов. Курган, 1989. Вып. 14. С. 5-12.
- 40. Значение ритма дистракции для реализации "Эффекта Илизарова" в нервах удлиняемого сегмента конечности / Г.А. Илизаров, М.М. Щудло, Н.Р.

- Карымов, М.С. Сайфутдинов // Гений ортопедии. 1995. № 1. С. 12-18.
- 41. Илизаров Г.А., Карымов Н.Р. Сравнительное исследование ультраструктуры нервных волокон в онтогенезе и в условиях дозированной дистракции // Гений ортопедии.1995. № 1. С. 26-29.
- 42. Выращивание кожи под влиянием напряжения растяжения / Г.А. Илизаров, А.П. Петров, А.И. Иванова, А.А. Утенькин // Сборник научных трудов, Курган, 1985. Вып. 10. С. 185-193.
- 43. Центральные и местные механизмы, реализующие на клеточно-молекулярном уровне стимулирующее влияние чрескостного остеосинтеза на репаративные процессы / Г.А. Илизаров, К.С. Десятниченко, Ю.М. Ирьянов, Ю.П. Балдин, Н.П. Лепехова, Л.С. Кузнецова // Тезисы докладов международной конференции. Курган, 1986. С. 16-17.
- 44. Некоторые данные экспериментального изучения механических характеристик спиц Киршнера / Г.А. Илизаров, Н.С. Емельянова, В.И. Ледяев, М.С. Бардина // Сборник научных работ. Курган, 1972. Вып. 1. С. 34-48.
- 45. К вопросу о фиксирующей опороспособности одной кольцевой опоры аппарата Г. А. Илизарова / Г.А. Илизаров, Н.С.Емельянова, В.И.Ледяев, М.С. Бардина // Сборник научных работ. Курган, 1972. Вып. 1. С. 48-55.
- 46. Влияние расстояний между кольцами на фиксирующую способность аппарата Г.А. Илизарова / Г.А. Илизаров, Н.С. Емельянова, Г.А. Липанов, В.И. Ледяев, В.А. Немков, М.С. Бардина // Сборник научных работ. Курган, 1972. Вып. 1. С. 55-70.
- 47. Методики оценки жесткости биомеханической системы чрескостный аппарат-конечность / Г.А. Илизаров, Б.К. Каравашкин, В.А. Немков, Ф.Я. Руц // Сборник научных работ КНИИЭКОТ. Л., 1977. Вып. 3. С. 82-88.

REFERENCES

- 1. The general biological property of tissues to respond to graduated distraction with growth and regeneration (The Ilizarov effect) / Ilizarov G.A.: Diplom OT 355 (SSSR). N 11271. Zayavl. 25.12.1985. Opubl. 23.04.1989. Byul. "Otkr. izobreteniya". 1989. № 15. S. 1 (Prioritet ot 24.09.1970) (in Russian).
- 2. Ilizarov G.A. Our experience in performing osteosynthesis using the author's device // In: Tezisy dokladov 1-go Vserossiyskogo S"ezda Travmatologov i Ortopedov SSSR. M., 1963. S. 166-168 (in Russian).
- 3. Ilizarov G.A. The possibilities of controlling regenerative and shape-formative processes in bone and sof tissues // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1982. Vyp.8. S. 5-18 (in Russian).
- Ilizarov G.A. The significance of tension stress factors in tissue genesis and shape-formative processes for transosseous osteosynthesis // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1984. Vyp.9. S. 4-41 (in Russian).
- 5. Ilizarov G.A. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissue: P.II. The influence of the rate and frequency of distraction // Clin. Orthop. Relat Res. 1989. N 239. P. 263-285.
- A technique to heal fractured bones and a device for this technique implementation / Ilizarov G.A.: A.S. № 98471 (SSSR); N 102/17-762/4 17962; Zayavl. 09.06.1952; Opubl. 17.08.1954. Byul. Izobreteniy. 1954. N 6 (in Russian).
- 7. Ilizarov G.A., Ledyaev V.I., Imerlishvili I.A. Some data on studying the morphological details of osteogenesis process under stable distraction osteosynthesis // Sbornik nauchnykh rabot. Kurgan, 1972. Vyp. 1. S. 217-237 (in Russian).
- 8. Ultrastructural elastogenesis features in magistral arteries of canine pelvic limb during leg lengthening / G.A. Ilizarov, Yu.M. Ir'yanov, R.S. Migalkin, N.V. Petrovskaya // Arkhiv anatomii, gistologii i embriologii. 1987. T. 93, N 9. S. 94-98 (in Russian).
- 9. Ilizarov G.A., Ir'yanov Yu.M. Osteogenesis features under tension stress // Byul. eksperim. biol. med. 1991. T. 111, N 2. S.194-196 (in Russian).
- 10. Shreyner A.A., Chirkova A.M., Erofeev S.A. Formation of distraction regenerated bone in case of different rate of experimental limb lengthening // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1985. Vyp. 10 . S.148-154 (in Russian).
- 11. Ilizarov G.A., Shreyner A.A., Imerlishvili I.A. New information about osteogenic potential of shaft bone marrow // Ortopediya, Travmatologiya i Protezirovanie. 1993. № 4. S. 5-7 (in Russian).
- 12. Ilizarov G.A., Shreyner A.A. Closed tubular bone osteotomy experimentally // Theoretical and Practical Aspects of Transosseous Compression and Distraction Osteosynthesis: Abstracts of All-Union Scientific-and-Practical Conference. Kurgan, 1976. S. 38-40 (in Russian).
- 13. Ilizarov G.A., Shreyner A.A. A new method of flexion osteoclasia // Ortopediya, Travmatologiya i Protezirovanie. 1979. No 1. S. 9-14 (in Russian).
- 14. Imerlishvili I.A., Bakhlykov Yu.N., D'yachkova G.V. The morphohistological characteristic of early stages of distraction regenerated bone // Tematicheskiy sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1980. Vyp. 6. S. 90-96 (in Russian).
- 15. Ilizarov G.A., İmerlishvili I.A., Bakhlykov Yu. N. Reparative osteogenesis features under different conditions of distraction osteosynthesis according to Ilizarov // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1982. Vyp. 8. S. 27-33 (in Russian).
- 16. Biochemical aspects of bone tissue regeneration for compression-distraction osteosynthesis / V.N.Matveenko, A.N. Gaydamak, K.S.Desyatnichenko, L.S.Kuznetsova, N.P.Lepekhova // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1981. Vyp. 7. S. 80-89 (in Russian).
- 17. Ilizarov G.A., Ir'yanov Yu.M. The ultrastructural characteristic of blood capillaries of the regenerated bone in the early period of its formation under its distraction // Tematicheskiy sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1980. Vyp. 6. S. 82-90 (in Russian).
- 18. A technique for the leg and forearm lengthening and thickening / Ilizarov G.A.: A.S. 564859(SSSR). №2320829/13. Zayavleno 11.03.76. Opublikovano.15.07.77. Byul. 26. № 8 (in Russian).
- 19. Petrovskaya N.V., Barabash A.P., Petrov A.P. The details of the leg arterial bed reorganization for tibial shaft shape changing // Sbornik trudov Sverdlovskogo NIITO. L, 1982. S. 52-58 (in Russian).
- Ilizarov G.A., Ir'yanov Yu.M., Petrovskaya N.V. The morphofunctional features of osteogenic cells of distraction regenerated bone // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1988. Vyp. 13. S. 3-11 (in Russian).
- 21. Ilizarov G.A., Asonova S.N. Ultrastructural aspects of angiogenesis in fasciae of skeletal muscles in lengthening with the Ilizarov technique // Orthop. Genius. 1993. № 1. S. 1-5.
- 22. Shevtsov V.I., Ir'yanov Yu.M. Osteogenesis and angiogenesis for distraction osteosynthesis // Byul. eksperim. biol. med. 1995. T. 119, № 7. S. 95-99 (in Russian).
- 23. Roentgenological features of free autograft reorganization for filling an extensive bone defect according to Ilizarov-Barabash-Khelimskiy technique / A.P. Barabash, A.A. Larionov, N.P.Barabash, Yu.S. Kochetkov // Sbornik nauchnykh trudov KNIIEKOT. Kurgan, 1982. Vyp. 8. S. 39-46 (in Russian).
- 24. Cranial bone regeneration for transosseous osteosynthesis / V.I. Shevtsov, A.N. D'yachkov, A.M. Chirkova, Yu.M. Ir'yanov. M.: Meditsina, 2005. 168 s (in Russian).
- 25. Ilizarov G.A., Markhashov A.M., Imerlishvili I.A. The influence of asymmetric loads on the spine structure (An experimental study) // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1982. Vyp. 8. S.159-164 (in Russian).
- A device for treating the spine curvatures and injuries / Ilizarov G.A., Markhashov A.M.: A.S. 1448432 (SSSR). N 3854923/28 -14; Zayavleno 06.02.85. (in Russian).
- 27. A device for treating vertebrae fractures / Ilizarov G.A., Markhashov A.M.: A.S. 1711860 (SSSR). N 4722143/14. Zayavleno 29.06.87.Opubl. 15.02.92. Byul. 6. S. 27 (in Russian).
- 28. A device for spondylolisthesis treatment / Ilizarov G.A., Markhashov A.M.: A.S. 1768147 (SSSR). N 4297073/14. Zayavleno 11.08.87. Opubl. 15.07.92. Byul. 38. S. 16 (in Russian).
- 29. 29A technique for scoliosis modeling in case of the spine uncompleted growth / Ilizarov G.A.: A.S. 1654861 (SSSR). N 4702233/14; Zayavl. 08.06.89. Opubl. 07.06.91. Byul. 21. S. 206 (in Russian).
- 30. A technique for modeling spinal canal shape / Ilizarov G.A.: A.S. 1760885(SSSR). N 4803963/14; Zayavleno 19.03.90. (in Russian).
- 31. A technique for modeling anterior spondylodesis of lumbar vertebrae / Ilizarov G.A.: A.S. 1823674 (SSSR). N 4917098/14. Zayavleno 07.03.91. (in Russian)
- 32. Chikorina N.K. The sources of growth and regeneration of skeletal muscles under graduated distraction // Structure and biomechanics of the musculoskeletal and cardiovascular system in vertebrates: Tezisy dokladov respublikanskoy konferentsii. Kiev, 1984. S. 160-161 (in Russian).

Гений Ортопедии № 2, 2016 г.

- 33. Chikorina N.K., Ivanova A.I. The dynamics of morphological reorganizations of regenerated muscle for filling the anterior tibial muscle defect according to Ilizarov experimentally // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1982. Vyp. 8. S. 65-71 (in Russian).
- 34. Shchurov V.A. Ivanova T.I., Bogomyagkov V.S. The leg blood supply dependence on the leg longitudinal sizes and on the biomechanical properties of skeletal muscles // Fiziologiya cheloveka. 1984. T.10, № 2. S. 281-286 (in Russian).
- 35. The ultrastructure of myofibroblasts and cytoskeleton in the tissues of the limb being lengthened / G.A. Ilizarov, Yu.M. Ir'yanov, N.K. Chikorina, S.N. Asonova, I.I. Martel' // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1982. Vyp. 8. S.33-39 (in Russian).
- 36. Bunov V.S., Berkutskaya T.S., Palkina T.A. The results of clinical-and-histological studying of muscles for experimental limb ischemia modeling // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1984. Vyp. 9. S. 192-196 (in Russian).
- Ilizarov G.A., Naumov A.D., Chikorina N.K. The influence of graduated distraction with the Ilizarov fixator on the structural-and-functional condition of skeletal muscle in the experimental setting // Tezisy dokladov Vsesoyuznoy konferentsii s uchastiem inostrannykh spetsialistov. Kurgan, 1991. S. 290-293 (in Russian).
- 38. Morphological changes and morphometrical parameters of fasciae of the leg being lengthened experimentally under different distraction conditions / G.A. Ilizarov, N.S. Shekhovtsova, V.I. Kalyakina, N.V. Petrovskaya // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1989. Vyp. 14. S.12-26 (in Russian).
- 39. Ilizarov G.A., Karymov N.R. The ultrastructural mechanisms of nerve fiber neogenesis under graduated distraction // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1989. Vyp. 14. S. 5-12 (in Russian).
- 40. The significance of distraction rhythm for "the Ilizarov effect" realization in nerves of the limb segment being lengthened / G.A. Ilizarov, M.M. Shchudlo, N.R. Karymov, M.S. Sayfutdinov // Geniy Ortopedii. 1995. №1. S. 12-18 (in Russian).
- 41. Ilizarov G.A., Karymov N.R. A comparative study of nerve fiber ultrastructure in ontogenesis process and under graduated distraction // Geniy Ortopedii. 1995. №1. S. 26-29 (in Russian).
- 42. Skin growing under tension stress influence / G.A. Ilizarov, A.P. Petrov, A.I. Ivanova, A.A. Uten'kin // Sbornik nauchnykh trudov. Kurgan, 1985. Vyp. 10. S. 185-193 (in Russian)
- 43. The central and local mechanisms which realize transosseous osteosynthesis stimulating effect on reparative processes at the cellular-and-molecular level / G.A. Ilizarov, K.S. Desyatnichenko, Yu.M. Ir'yanov, Yu.P. Baldin, N.P. Lepekhova, L.S. Kuznetsova // Tezisy dokladov mezhdunarodnoy konferentsii. Kurgan, 1986. S. 16-17 (in Russian).
- 44. Some data of experimental studying Kirschner wires' mechanical characteristics / G.A.Ilizarov, N.S.Emel'yanova, V.I.Ledyaev, M.S. Bardina // Sbornik nauchnykh rabot. Kurgan, 1972. Vyp. 1. S. 34-48 (in Russian).
- 45. Concerning the problem of the fixing potential of one ring support of the Ilizarov fixator / G.A. Ilizarov, N.S. Emel'yanova, V.I. Ledyaev, M.S. Bardina // Sbornik nauchnykh rabot. Kurgan, 1972. Vyp. 1. S. 48-55 (in Russian).
- 46. The influence of the distance between rings on the Ilizarov fixaztor's fixing potential / G.A. Ilizarov, N.S. Emel'yanova, G.A. Lipanov, V.I. Ledyaev, V.A. Nemkov, M.S. Bardina // Sbornik nauchnykh rabot. Kurgan, 1972. Vyp. 1. S. 55-70 (in Russian).
- 47. Techniques for rigidity evaluation of transosseous device-limb biomechanical system / G.A. Ilizarov, B.K. Karavashkin, V.A. Nemkov, F.Ya. Ruts // Sbornik nauchnykh rabot KNIIEKOT. L., 1977. Vyp. 3. S. 82-88 (in Russian).

Рукопись поступила 15.03.2016.

Сведения об авторах:

- 1. Губин Александр Вадимович ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, директор, д. м. н.
- 2. Борзунов Дмитрий Юрьевич ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, заместитель директора по научной работе, д. м. н.
- 3. Марченкова Лариса Олеговна ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, ведущий специалист организационнометодического отдела, к. м. н.; e-mail: mlo59@mail.ru.
- 4. Смирнова Ирина Леонидовна ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, ведущий специалист организационнометодического отдела.

Information about the authors:

- 1. Gubin Aleksandr Vadimovich FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Director, Doctor of Medical Sciences.
- 2. Borzunov Dmitriy Yur'evich FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Deputy Director for Science, Doctor of Medical Sciences.
- 3. Marchenkova Larisa Olegovna FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Organizational-and-Methodical Department, a leading specialist, Candidate of Medical Sciences; e-mail: mlo59@mail.ru.
- 4. Smirnova Irina Leonidovna FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Organizational-and-Methodical Department, a leading specialist.