

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ ДИСТРАКЦИОННЫХ РЕГЕНЕРАТОВ ПО ДАННЫМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Ю.М.Ирьянов

SPATIAL ORGANIZATION OF BONE TISSUE IN DISTRACTION REGENERATES ACCORDING TO SCANNING ELECTRON MICROSCOPY DATA

Y.M.Irianov

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова, г. Курган
(Генеральный директор — академик РАМТН, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ В.И. Шевцов)

При помощи сканирующего электронного микроскопа изучены особенности объемно-пространственной организации костной ткани дистракционных регенератов взрослых собак на различных этапах удлинения голени. Установлено, что в костномозговом канале проксимального и дистального отломков удлиняемой кости и в дистракционном диастазе, в участках, примыкающих к концам фрагментов, регенерирующая костная ткань приобретает мелкогубчатое строение с формированием замкнутых сфероидальных лакун. В периферических участках слабоминерализованной срединной прослойки, с проксимальной и дистальной сторон округлые и замкнутые костные лакуны под влиянием дистракции трансформируются в продольно ориентированные первичные остеоны цилиндрической формы. Вершины последних растут навстречу друг другу со стороны проксимального и дистального костных фрагментов в течение всего периода дистракции. Регенераты при этом приобретают характерное зональное строение.

Ключевые слова: дистракционный остеосинтез, репаративное костеобразование, сканирующая электронная микроскопия.

Peculiarities of spatial organization of bone tissue in distraction regenerates of adult dogs at different stages of leg elongation are studied, using scanning electron microscopy. It is established, that regenerating bone tissue acquires a microspongioid structure with formation of closed spheroid lacunae in the parts, adjacent to fragmental ends in the medullary canal of the proximal and distal fragments of elongated bone and in distraction diastasis. Round and closed bone lacunae under the influence of distraction are transformed to longitudinally oriented primary cylinder-shaped osteones in peripheral parts of undermineralized median interlayer proximally and distally. Tops of osteones grow towards each other from the direction of the proximal and distal bone fragments all over the period of distraction. Besides, the regenerates acquire typical zonal structure.

Keywords: distraction osteosynthesis, reparative formation, scanning electron microscopy.

Влияние механических факторов на формирующиеся структуры костной ткани - факт, известный давно. Было показано, что в ответ на изменение механических нагрузок наблюдается ориентация костных трабекул по линиям максимальных напряжений, происходит изменение их числа и размеров (так называемый, закон Вольфа) [1, 2], однако конкретный биологический механизм этого явления до настоящего времени не расшифрован.

Дистракция - постепенное, строго дозированное, стабилизированное в заданном направ-

лении растяжение сопоставленных костных отломков является одним из специфических видов механического воздействия и, следовательно, влияет на репаративные костеобразовательные процессы, на формирование и пространственную организацию костных регенератов.

Цель настоящей работы - изучение особенностей объемно-пространственной организации костной ткани дистракционных регенератов при помощи методов сканирующей электронной микроскопии высокого разрешения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дистракционные регенераты 36 взрослых собак, формирующиеся на различных этапах удлинения голени, вырезали на 3, 7, 14, 21 и 28

сутки дистракции, 30 и 60 сутки последующей фиксации и через 3 и 6 месяцев после снятия аппарата, фиксировали в параформ-

глутаральдегиде и заключали в эпон. Изготавливали дозированно коррозионные препараты, кото-

рые изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа "JSM-840".

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные исследования показали, что на первой - второй неделях дистракции регенераты формируются практически только за счет эндостального костеобразования, которое распространяется не только в диастаз, но и на значительном протяжении в костномозговой канал обоих отломков, заполняя новообразованной костной тканью весь его поперечник (Рис.1) и формируя своеобразные костные "штифты", образованные губчатой костной тканью (Рис.2).

К концу преддистракционного периода (на 5-е сутки после операции) образуется первичное эндостальное костно-остеоидное сращение. На 3-и сутки дистракции в участках, примыкающих к концам отломков, оно сохраняется и достигает толщины 1,5-2 мм.

В ранние сроки (на 8-е сутки после остеоклазии) новообразованная костная ткань появляется и в интермедиарном пространстве дистракционных регенератов. Следует отметить, что при проведении сравнительных исследований нами установлено [3], что в условиях стабильной фиксации и нейтрального остеосинтеза наиболее раннее образование интермедиарной костной мозоли отмечается лишь на 12-е сутки после закрытого перелома большеберцовой кости у собак, а при точной репозиции, высокой конгруэнтности концов отломков и создания узкой щели между ними шириной 40-50 мкм интермедиарное сращение отсутствовало и через 19 суток. В дистракционных регенератах в некоторых случаях уже к концу первой недели дистракции интермедиарное пространство почти полностью заполняется спиралевидными трабекулами (Рис.4, 5), которые формируются по ходу штопорообразно извитых капилляров. Последние ответвляются от артериол (Рис.6), врастающих через многочисленные перфорационные отверстия (Рис.7) с периостальной поверхности и из костномозгового канала через концы отломков в диастаз, что сопровождается rareфикацией костной ткани фрагментов.

Установлено, что под влиянием дистракции регенераты приобретают характерное зональное строение. В их эндостальных и интермедиарных зонах вокруг линии излома к концу первой недели дистракции формируется слабоминерализованная срединная прослойка, которая разделяет два значительно более кальцифицированных проксимальных и дистальных костных отдела регенератов.

Ширина прослойки, составляющая через 7-14 суток дистракции 0,5-0,8 мм, к концу периода удлинения увеличивается до 2-3 мм. Через 30

суток последующей фиксации оперированной конечности в аппарате ширина прослойки вновь сокращается, а на отдельных участках и полностью замещается костной тканью, которая через 60 суток фиксации, при образовании в регенератах костномозгового канала, в медиальной части прослойки резорбируется. В этот период начинает формироваться и кортикальный слой новообразованного участка диафиза, компактизация которого продолжается и через 180 суток после снятия аппарата.

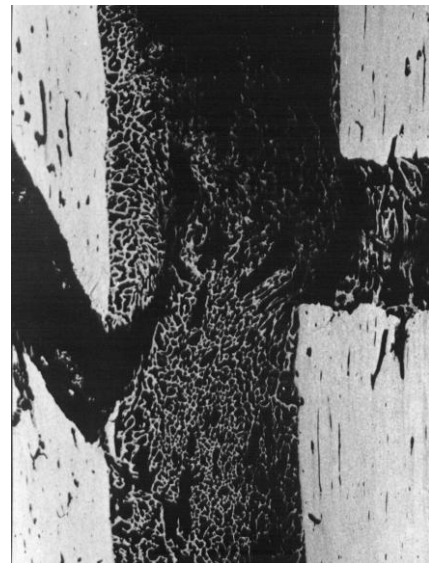


Рис. 1. Эндостальное и интермедиарное костеобразование в регенерате на 7-е сутки дистракции. Увеличение 10.

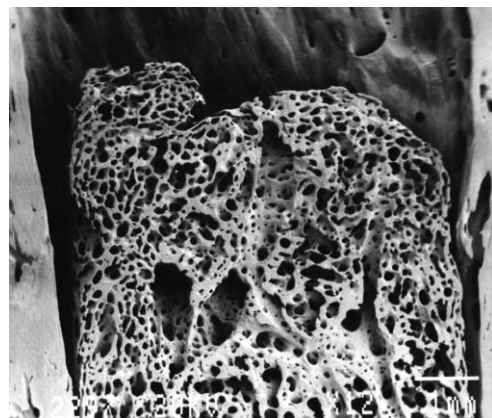


Рис. 2. Сфероидальные, замкнутые костные лакуны губчатой кости в костномозговом канале проксимального отломка. 14 суток дистракции. Увеличение 12.

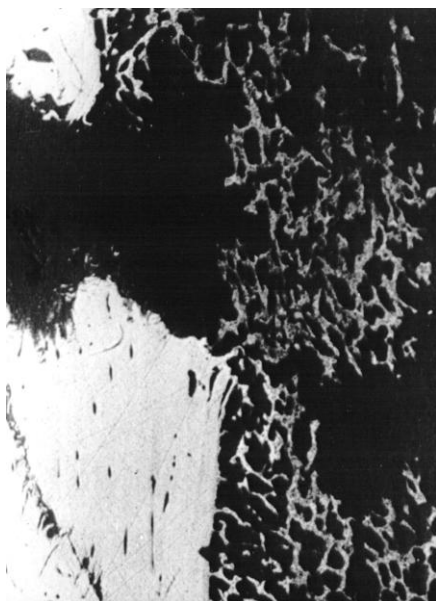


Рис. 3. Эндостальное костно-остеоидное сращение в регенерате на 3-и сутки дистракции. Увеличение 20.

В костномозговом канале проксимального и дистального отломков удлиняемой кости и в дистракционном диастазе, в участках, примыкающих к концам фрагментов, как и в регенератах, образующихся в условиях нейтрального остеосинтеза, регенерирующая костная ткань приобретает мелкогубчатое строение с формированием замкнутых сфероидальных лакун (Рис.8).



Рис. 4. Интермедиальное костно-остеоидное сращение в регенерате на 7-е сутки дистракции. Увеличение 20.

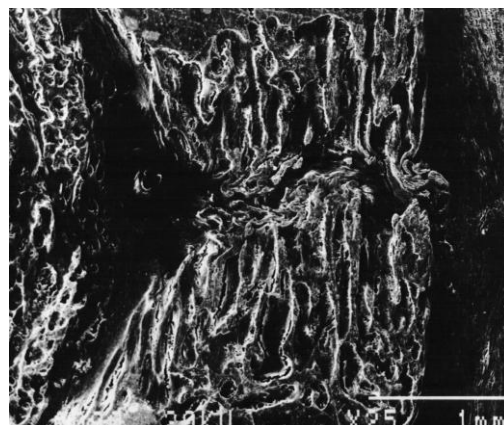


Рис. 5. Новообразованные костные трабекулы в интермедиальном пространстве регенерата на 7-е сутки дистракции. Увеличение 25.

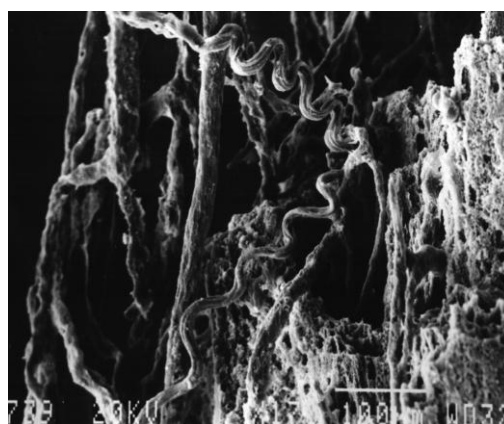


Рис. 6. Спиралевидные капилляры, ответвляющиеся от артериолы, проникающей с периостальной поверхности в конец отломка. 7 суток дистракции. Увеличение 180.

В периферических участках слабоминерализованной срединной прослойки, с проксимальной и дистальной сторон округлые и замкнутые костные лакуны под влиянием дистракции трансформируются в продольно ориентированные первичные остеоны цилиндрической формы (Рис.9), которые на продольных срезах выглядят как комплекс вертикально ориентированных трабекул, представляющих собой плоскостное изображение перерезанных на том или ином уровне стенок первичных остеонов. Вершины последних растут навстречу друг другу со стороны проксимального и дистального костных фрагментов в течение всего периода дистракции. Регенераты при этом приобретают характерное зональное строение.

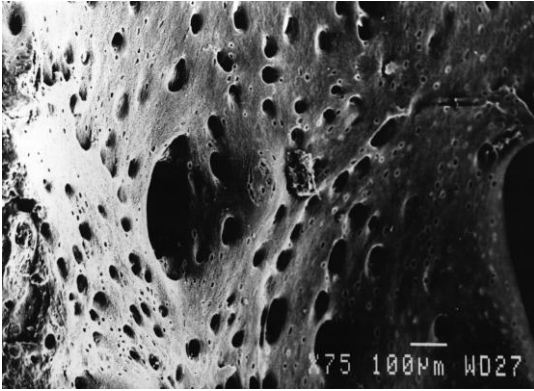


Рис. 7. Перфорационные отверстия на внутренней поверхности проксимального отломка. 14 суток дистракции. Увеличение 75.

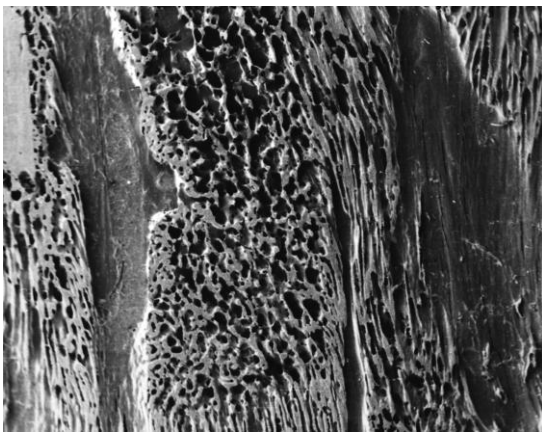


Рис. 8. Зона сфероидальных костных лакун, граничащая с зоной первичных остеонов (в нижней части снимка). 14 суток дистракции. Увеличение 12.

Протяженность зоны первичных остеонов с увеличением длительности дистракционного периода возрастает. Этот процесс зависит от взаимодействия двух антагонистических процессов: костеобразовательных в вершинах первичных остеонов и резорбционных в базальных частях, в области контакта первичных остеонов с зонами костных лакун, где располагаются многочисленные функционально активные остеокласты. Удлинение костных регенератов в дистракционном диастазе связано в первую очередь с продольным ростом первичных остеонов, вершины которых образованы слабо кальцифицированной костной тканью и растут навстречу друг другу со стороны проксимального и дистального костных фрагментов. После прекращения дистракции зона первичных остеонов сокращается, а затем и полностью резорбируется, и замещение слабоминерализованной

прослойки костной тканью осуществляется за счет новообразования мелких сфероидальных лакун и их значительно более медленного аппозиционного роста (Рис.10).

Наши исследования показали наличие в дистракционных регенератах пяти зон, различающихся по своей объемно-пространственной организации: зона слабоминерализованной срединной прослойки, примыкающие к ней по обе стороны зоны цилиндрических первичных остеонов и граничащие с ними зоны сфероидальных костных лакун, располагающиеся у концов отломков и в их костномозговом канале.

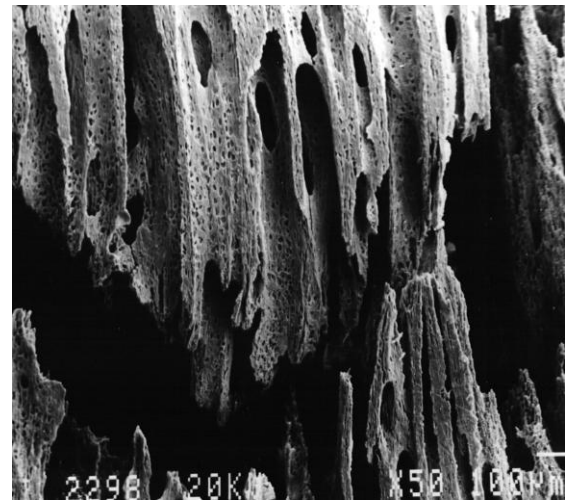


Рис. 9. Зона цилиндрических первичных остеонов, врастающих навстречу друг другу. 14 суток дистракции. Увеличение 50.

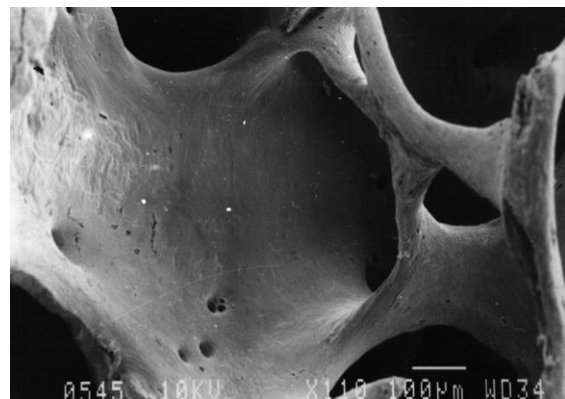


Рис. 10. Новообразованные сфероидальные костные лакуны, формирующиеся при замещении прослойки костной тканью. 30 суток фиксации. Увеличение 110.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные нами исследования позволили отчетливо показать, что дистракция оказывает

формообразующее влияние на объемно-пространственную организацию регенерирующей

щей костной ткани. В основе этого явления лежит морфогенетический эффект напряжения растяжения, показанный рядом авторов, как на эмбриональном материале, так и при репаративных процессах [4, 5, 6].

Как нами показано [3] в регенератах, формирующихся в условиях стабильной фиксации костных отломков и нейтральном остеосинтезе, то есть отсутствия влияния внешних механических факторов, архитектура регенерирующей костной ткани характеризуется наличием замкнутых костных лакун, лишенных какой-либо преимущественной ориентации в пространстве и имеющих вид полостей мешотчатой или сфероидальной формы, ограниченных "стенками" из костного матрикса различной толщины. Последние при рассечении лакун на том или ином уровне выглядят в плоскостном изображении на срезе, как костные трабекулы, образующие мелкопетлистую сеть.

Мы подтвердили данные ряда авторов [7, 8, 9] о наличии в дистракционных регенератах различных зон, но в отличие от них наши исследования, выполненные при помощи сканирующей электронной микроскопии коррозионных препаратов, позволили впервые выявить особенности пространственной организации дистракционных регенератов не в плоскостном изображении на гистологических срезах, а в реальном трехмерном пространстве.

В частности, нами установлено, что у концов костных отломков и в их костномозговых каналах располагаются зоны замкнутых сфероидальных костных лакун, к ним примыкают зоны первичных остеонов, последние разделены зоной слабо минерализованной срединной прослойки.

Трансформацию замкнутых сфероидальных лакун в вытянутые в продольном направлении цилиндрические первичные остеоны мы наблюдали уже на третьи сутки дистракционного периода, то есть на восьмые сутки эксперимента, тогда как в регенератах, формирующихся при стабильной фиксации отломков, но без дистракции, образование первичных остеонов мы не наблюдали и на 19-е сутки после операции. По данным Виноградовой Т.П. и Лаврищевой Г.И. [10] при стабильной фиксации костных отломков большеберцовых костей у собак появление в регенератах первичных остеонов лакунарного типа отмечается лишь на 21-е сутки эксперимента.

Известно, что лакунарное строение характерно для развивающихся костей плодов и новорожденных [11]. Между балками развивающейся костной ткани и в компактном веществе костей у взрослых также было установлено наличие подобных образований, имеющих вид полостей, содержащих, по мнению авторов,

мезенхимальную ткань и сосуды, и являющихся резервом для перестройки костей.

Процесс трансформации костных лакун в первичные остеоны, выявленный нами в дистракционных регенератах, характерен для длинных трубчатых костей и в условиях их естественного роста. В частности, было показано, что в процессе развития длинных трубчатых костей по мере удаления от зоны их продольного роста лакуны трансформируются в первичные остеоны, стенки которых образованы костной тканью с продольно-параллельным расположением пучков коллагеновых волокон, как и в дистракционных регенератах, а в их гаверсовых каналах выявляются капилляры синусоидного типа, окруженные, по мнению авторов, мезенхимальной тканью [11, 12].

Термин "остеон", впервые предложенный в 1914 году Biderman W. [11], трактуется, главным образом, как морфофункциональная единица компактного вещества кости [13]. Вместе с тем, в настоящее время имеются данные, свидетельствующие о наличии остеонов и в трабекулах губчатой кости, если их толщина достигает 600 мкм и более [12]. Они располагаются преимущественно в местах бифуркаций трабекул, характеризуются неправильной конфигурацией, повторяя очертания трабекул, и содержат в сосудистых (гаверсовых) каналах костномозговые клетки. Внутритрабекулярные остеоны имеют не только механическое значение, обеспечивая сопротивление механическим нагрузкам, но и активно участвуют в микроциркуляторных процессах, благоприятствуя обмену веществ в глубоко расположенных остеocyтах.

Известно, что у плодов и новорожденных, а у человека до возраста четырех лет, диафизы костей состоят из непластинчатой костной ткани сетчатоволокнистого и грубоволокнистого строения, слои которой, отлагаясь вокруг широких пространств, содержащих кроме сосудов и костномозговые клеточные элементы, дают начало росту первичных остеонов, сначала лакунарных, а затем и цилиндрических [12]. Аналогичные процессы, как нами показано, наблюдаются и при образовании первичных остеонов в дистракционных регенератах. Со временем первичные остеоны резорбируются и после прекращения дистракции заменяются вторичными остеонами, как и при естественном росте костей. Стенки вторичных остеонов образованы пластинчатой костной тканью, в которой коллагеновые волокна объединены в тонкие пучки и обвивают гаверсовы каналы в виде непрерывных спиралей, пересекающих друг друга.

Таким образом, нами впервые установлено, что регенерирующая костная ткань обладает свойством отвечать на дозированное растяжение, стабилизированное в заданном направлении

(дистракцию) изменением своей объемно-пространственной организации. Дистракция трансформирует округлые, замкнутые костные лакуны в первичные остеоны цилиндрической формы, рост которых в отличие от костных лакун осуществляется ориентированно по век-

тору дистракции. В основе этого явления лежит морфогенетический эффект напряжения растяжения и феномен снижения в ходе дистракции влияния на клетки сил контактного ингибирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wolff J. Beitrage zur Lehre von der Heilung der Frakturen // Arch. klin. Chir. - 1872. - Bd. 14. - S.270.
2. Wolff J. Das Gesetz der Transformation der Knochen.- Quarto, Berlin, 1892.- 148 s.
3. Шевцов В.И., Ирьянов Ю.М. Особенности формирования костного сращения в условиях дистракции // Анналы травматологии и ортопедии. - 1995. - N 2. - С.20-23.
4. Упругие натяжения в эмбриональном материале, как фактор его самоорганизации / Белинцев Б.Н., Белоусов Л.В., Зарайский А.Г., Волькенштейн М.В. // Докл. АН СССР. - 1985. -281. - N3. - С.708-711.
5. Илизаров Г.А., Ирьянов Ю.М. Особенности остеогенеза в условиях напряжения растяжения // Бюлл.эксперим. биол. -1991. - Т.III, N 2. - С.194-196.
6. Савельев С.В. Формообразование мозга позвоночных. - М., Изд-во МГУ, 1993. - 143 с.
7. Илизаров Г.А., Имерлишвили И.А., Ледаев В.И. Некоторые данные по изучению морфологических особенностей процесса костеобразования в условиях стабильного дистракционного остеосинтеза // Чрескост. компрес. и дистракц. остеосинтез в травматологии и ортопедии: Сб. науч. работ. Вып. I.- Курган, 1972.- С.217-237.
8. Штин В.П. О натяжении как факторе, обеспечивающем пролонгированное течение костеобразования при дистракции // Ортопед., травматол.- 1976.- N2.- С.53-55.
9. Илизаров Г.А., Хелимский А.М. Особенности репаративной регенерации при чрескостном компрессионно-дистракционном остеосинтезе // Современные проблемы регенерации: Сб. науч. работ. - Йошкар-Ола, 1980. - С.28-55.
10. Виноградова Т.П., Лаврищева Г.И. Регенерация и пересадка костей. - М.: Медицина, 1974. - 247 с.
11. Лаврищева Г.И., Карпов С.П., Бачу И.С. Регенерация и кровоснабжение кости. - Кишинев: Штиинца, 1981. - 168 с.
12. Штефко В.Г. Возрастная остеология. - М.: Изд. АМН РСФСР, 1947. - 221 с.
13. Lozupone E. The structure of the trabecule of cancellous bone // Anat. Anz. - 1985. - Vol. 159, N 1-5. - P.211-229.

Рукопись поступила 31.12.97 г.



КУРГАНСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МЕДИЦИНСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Медицинский факультет Курганского Международного университета готовит врачей по специальности "Лечебное дело". Обучение осуществляется на базе лабораторий и отделений Российского научного центра "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г.А. Илизарова, а также областной и городских клинических больниц.

Наряду с изучением всех обязательных для медицинских вузов дисциплин, студенты медицинского факультета Курганского международного университета дополнительно осваивают чрескостный остеосинтез, микрохирургическую технику и клапанную гастроэнтерологию.

Обучение платное.

Дополнительное послевузовское образование и специализацию по чрескостному остеосинтезу можно получить на кафедре усовершенствования врачей, ординатуре (2 года), аспирантуре (3 года) при Российском научном центре "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г.А. Илизарова.

За информацией обращаться:

Курганский Международный университет

Курган, 640000, ул. М.Горького, 148

(35222) 3-75-64 Ректор университета: Попов Евгений Вениаминович

3-60-32 приемная

факс: (35222) 3-75-62

3-38-76 Кафедра усовершенствования врачей РНЦ "ВТО"