

Рис. 6. Схема организации системы каналов в компактном веществе кости человека.

1 — центральные каналы, 2 — прободающие, 3 — соединяющие, 4 — каналцы, 5 — лакуны, 6 — межфибрилярные и межкристаллические промежутки.

В гистологии пространства между твердыми компонентами костной ткани обозначаются как костные каналы, по которым перемещается жидкость и осуществляется доставка питательных веществ и выведение метаболитов. С физико-химической точки зрения эти пространства являются своеобразными порами, делающими кость пористым материалом. Такое строение определяет прочностные свойства кости. Одновременное использование при изучении одного и того же объекта двух самостоятельных методических подходов позволило нам получить достаточно объемную картину межструктурного пространства костной ткани, которую мы представили в обобщенной схеме (рис. 6).

Таким образом, в настоящем исследовании получены новые количественные параметры компактного вещества кости человека, а также показана возможность эффективного сочетания морфологических и физико-химических методов в исследовании костной ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абросимов Г. Н., Луньков А. Е., Неклюдов Ю. А. // Тез. докл. VIII Всесоюз. конф. «Измерения в медицине и их метрологическое обеспечение». — М., 1986. — С. 17.
2. Богонатов Б. Н., Гончар-Заикина Н. Г. // Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии. — 1976. — Т. 70, вып. 4. — С. 53—60.
3. Бутырин Г. М. Высокопористые углеродные материалы. — М., 1976.
4. Варгафюк Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М., 1972.
5. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. — М., 1984.
6. Денисов-Никольский Ю. И., Докторов А. А. // Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии. — 1987. — Т. 97, вып. 8. — С. 37—43.
7. Кнетс И. В., Пфафрод Г. С., Саулгозис Ю. Ж. Деформирование и разрушение твердых биологических тканей. — Рига, 1980.
8. Ксенжек О. С., Калиновский Е. А., Петрова С. А., Литвинова В. И. // Журн. физ. химии. — 1967. — Т. XI, вып. 7. — С. 1602—1607.
9. Луньков А. Е., Неклюдов Ю. А. // Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии. — 1986. — Т. 96, вып. 1. — С. 90—92.

10. Луньков А. Е., Абросимов Г. Н. Порометрия костной ткани. — Депон. в ВИНТИ 14.04.87, № 2565—887.
11. Матвейчук И. В., Денисов-Никольский Ю. И. // Проблемы инженерной биомедицины: Труды МВТУ — М., 1985. — С. 433.
12. Модлев В. П., Утенкин А. А., Свешникова А. А., Карнова Н. А. // Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии. — 1973. — Т. 67, вып. 5. — С. 69—82.
13. Омеляненко Н. П. // Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии. — 1990. — Т. 98, вып. 6. — С. 77—83.
14. Плаченев Т. Г., Колосенцев С. Д. Порометрия. — Л., 1988.
15. Янсон Х. А. Биомеханика нижней конечности человека. — Рига, 1975.
16. Casley-Smith J. R. // 9th Europ. Conf. Microcirculation. — Antwerpen, 1976. — N 15. — P. 206—209.
17. Cohen J., Harris W. H. // J. Bone Joint Surg. [Am.]. — 1958. — Vol. 40. — P. 419.
18. Surtis T., Ashrafi S., Weber D. F. // Anat. Rec. — 1985. — Vol. 215, N 4. — P. 336—344.
19. Martin R. B. // CRC Crit. Rev. biomed. eng. — 1986. — Vol. 10, N 3. — P. 179—222.
20. Vose G. P. // Anat. Rec. — 1963. — Vol. 145, N 2. — P. 183—191.

QUANTITATIVE ANALYSIS OF INTRASTRUCTURAL SPACE OF HUMAN COMPACT BONE

N. P. Omelianenko, G. M. Butirin

Intrastructural space of human compact bone is a system of bone canals and occupies 11—13 % (specific volume $V = 0,06—0,08 \text{ sm}^3/\text{g}$) of total tissue volume. This space is distributed in the following way: central and perforating canals and their anastomoses ($d=150—30 \mu\text{m}$) make up 13,5 % of total interstitial space; anastomoses and perforating canals with $30—15 \mu\text{m}$ diameter — 10 %, lacunar spaces ($d=15—1,5 \mu\text{m}$) — 24,1 %, canaliculi ($d=1,5—0,1 \mu\text{m}$) — 19,3 %, interfibrillary and intercrystalline spaces with $50—5 \text{ nm}$ and lower equivalent diameter — 35,5 %. Specific surface varies within limits of $0,44—1,95 \text{ m}^2/\text{g}$. Selective elimination of mineral component from the bone causes the increase of the intrastructural space volume up to 45 % of the total tissue volume. Specific volume $V=0,2—0,3 \text{ sm}^3/\text{g}$. Specific surface increases 10—60 times. Curves of intrastructural space distribution change. Quantitative parameters of bone tissue are presented after analytical processing of data using complex: electron microscopy, mercury porometry, gas adsorption.

© Коллектив авторов, 1994

Ю. А. Марков, А. И. Кавешников, А. Е. Евграфов, Н. А. Слесаренко, И. С. Косов

ХИРУРГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТОТАЛЬНОЙ ПЕРЕСАДКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА НА СОСУДИСТОЙ НОЖКЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА СОБАКАХ

Центральный институт травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова, Москва

Разработана экспериментальная модель тотальной пересадки коленного сустава на сосудистой ножке, обеспечивающая восстановление функции сустава в послеоперационном периоде. Установлено, что при анастомозировании сосудов с восстановлением сквозного кровотока по подколенной артерии достигается наиболее адекватное кровоснабжение трансплантата и всех сегментов конечности реципиента. Получены данные о процессе отторжения, которые могут быть использованы в исследованиях по аллотрансплантации сустава под прикрытием иммуносупрессоров нового поколения.

Проблема пересадки целых аллосуставов или их фрагментов продолжает занимать ортопедов, оставаясь нерешенной до настоящего времени. Предпринимавшиеся ранее подобные операции завер-

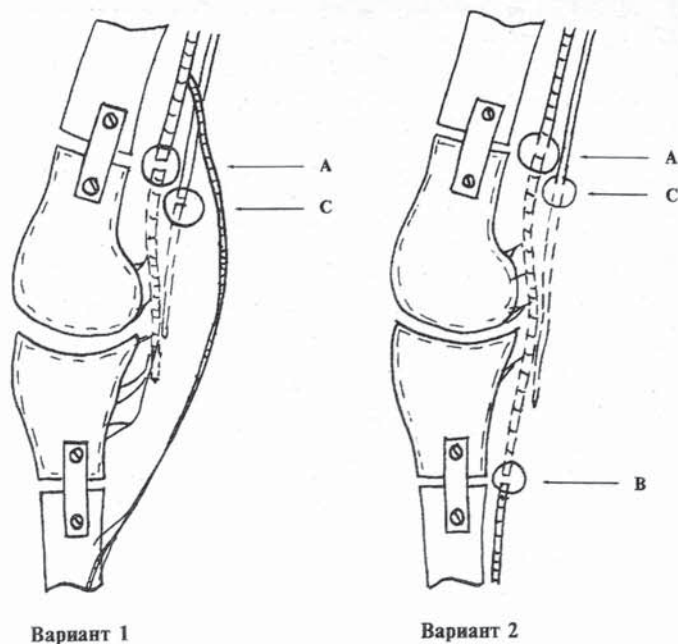
шались отторжением свежих аллотрансплантатов. В связи с этим долгое время пересаживались консервированные аллотрансплантаты, однако отдаленные результаты были неудовлетворительными: функция сустава постепенно ухудшалась, развивались деформации. Нежизнеспособная ткань редко в должной мере замещалась собственной новообразованной тканью, а чаще рассасывалась, что приводило к нарушению биомеханики сустава.

Проблема обрела новую жизнь с появлением микрохирургической техники и иммуносупрессоров. Было показано, что васкуляризованный аллотрансплантат коленного сустава при иммуносупрессии может выживать и функционировать [1, 4—6]. В то же время потенциал токсичности первых иммуносупрессоров (иммуран, метотрексат) представлял во много раз большую опасность, чем существование какого-либо костного дефекта. Лишь в последнее десятилетие новые экспериментальные и клинические данные начинают опровергать этот аргумент. Появляются иммуносупрессоры нового поколения, первым среди которых стал циклоспорин. Он продемонстрировал эффективность и меньшую токсичность при трансплантации органов и тканей [2]. Применение в эксперименте циклоспорина А позволило, по одним данным, увеличить выживание пересаженных васкуляризованных аллотрансплантатов до 1 года [3]; по другим данным, эффект был не столь явным, как это ожидалось [7]. Подобных работ очень мало. Практически не исследовано применение нового препарата FK-506 ("Fujisava", Япония) при экспериментальной пересадке костно-суставных блоков.

Целью нашей работы было создать экспериментальную модель пересадки коленного сустава на сосудистой ножке для последующего изучения на ней эффективности иммуносупрессоров (циклоспорина А и FK-506). Необходимо было отработать многие хирургические аспекты, включая выбор питающих сосудов, уровень резекции суставных концов костей. Недостаточно изучены и дифференцированы также морфологические изменения в тканях сустава, обусловленные ишемией и тканевой несовместимостью. В задачу нашего исследования входило изучение вариантов возможного кровоснабжения трансплантата, выявление типичных признаков отторжения при пересадке аллотрансплантатов.

Материал и методы исследования. В работе использовали 36 беспородных собак обоего пола массой в среднем 20 кг. Для исследования сосудов применяли наливку по Оноприенко смесью бария и желатина, смесью желатина и красителя демифен-голубого. Рентгенологические исследования проводили на стандартном оборудовании. При гистологических исследованиях использовали окрашивание гематоксилином и эозином и по Ван-Гизону.

На первом этапе работы по материалам наливки сосудов конечностей от 10 собак было показано, что краситель, вводимый через ветви подколенной артерии, окрашивает не только суставной хрящ, капсулу, но и диафизы костей (бедро и голени). Хотя это исследование не являлось количественным, факт проникновения контрастного вещества в названные выше области сви-



Анастомозирование подколенных артерий (А, В) и подколенных вен (С) трансплантата и реципиента.

детельствует о том, что коленный сустав, в норме кровоснабжаемый из нескольких источников, может питаться и только из ветвей подколенной артерии, а хорошее развитие коллатерального кровотока позволяет более свободно подходить к выбору уровня резекции костей при остеотомии у донора. Эти данные подтверждены при рентгеноконтрастировании с помощью бария на 10 собаках.

При пересадке коленного сустава возможны два варианта анастомозирования сосудов трансплантата и реципиента по типу конец в конец (см. рисунок). Исследование с наливкой сосудов при анастомозировании по *варианту 1* было проведено на 7 собаках. Полученные результаты не дают основания говорить об адекватном восстановлении кровообращения в передней группе мышц голени и костях голени и стопы при питании их только через *a. saphena*.

Поэтому мы решили остановиться на *варианте 2* восстановления сосудистого русла. Эта методика предполагает восстановление сквозного кровотока по подколенной артерии через донорский участок, забираемый вместе с трансплантатом. Трансплантат состоит из сустава с капсулой и сосудами, причем мышцы мы пересекали у места прикрепления, резекцию костей производили на границе средней трети диафизов, считая от сустава, из трансплантата максимально удаляли костный мозг. Остеосинтез выполняли с помощью металлических пластин, мышцы подшивали к местам прикрепления лавсаном и кетгутотом.

Используя операционный микроскоп и микрохирургическую технику, анастомозировали конец в конец подколенную артерию трансплантата и реципиента проксимально от сустава (см. рисунок, А), а также дистально (В). Подколенные вены (С) анастомозировали только проксимально от сустава для обеспечения оттока крови от трансплантата.

По данной методике проведено 15 операций аутоотрансплантации сустава: после взятия «транс-

плантата» его «пересаживали» обратно. Этот раздел экспериментальных исследований позволил отработать хирургические аспекты операции. Наблюдение за животными продолжалось от 1 мес до 2 лет. У 9 собак, оперированных без технических погрешностей (неизбежных в ходе отработки методики), отмечались хорошие и удовлетворительные результаты: наступала полная консолидация костных фрагментов (определявшаяся как клинически, так и рентгенологически), собаки ходили с опорой на оперированную конечность, объем движений в «трансплантате» составлял 90—130°. Кровоток в оперированной конечности, по данным термометрии в послеоперационном периоде и наливки сосудов на препаратах, полностью восстанавливался.

Таким образом, с хирургической точки зрения, технически правильно выполненная операция пересадки коленного сустава на сосудистой ножке позволяет рассчитывать на восстановление функции сустава и конечности в эксперименте на собаках.

Следующим этапом работы было проведение контрольной серии опытов по пересадке алло-сустава. С целью получения данных о типичных клинических и морфологических проявлениях отторжения трансплантата коленного сустава при отсутствии иммуносупрессии мы выполнили 6 операций пересадки аллотрансплантата на сосудистой ножке. Кровоток по подколенной артерии и в трансплантате был восстановлен по окончании операции во всех случаях, что отчетливо определялось по сосудистому наполнению.

На следующие сутки после операции отмечалась пульсация тыльной артерии стопы, кожная температура на стопе приближалась к дооперационной. На 3—4-й день пульсация становилась менее отчетливой, а температура повышалась по сравнению с дооперационной на 1—2 °С, что свидетельствовало о развитии воспалительной реакции. Наблюдались массивный отек в области коленного сустава, гиперемия. В дальнейшем эволюция трансплантата шла по типу отторжения при свободной пересадке, с секвестрацией и нагноением к 7—12-му дню и вывихом в суставе к 20-му дню.

При вскрытии во все сроки (7—30-е сутки) обнаруживали нежизнеспособный сустав с признаками распада тканей разной степени. Хрящ, кости бедра и голени, капсула сустава визуально и при гистоморфологическом исследовании представлялись аваскулярными, артерии трансплантата в

срок 7 дней были заполнены организованными тромбами. Морфологическая картина в целом была аналогична наблюдаемой при реакции несовместимости в случаях пересадки внутренних органов: мононуклеарная инфильтрация, отек интимы и меди, сужение просвета сосудов, повреждение эндотелия, образование микротромбов в сроки 4—7 дней и полный тромбоз сосудов, лейкоцитарная инфильтрация, тканевой детрит в более поздние сроки.

Таким образом, полученные данные позволяют говорить о картине отторжения пересаженного аллотрансплантата. Механизм отторжения, по-видимому, аналогичен описанному в литературе. Начинается оно с образования иммунных комплексов в интима артерий и вен, что быстро приводит к тромбозу и прекращению кровотока в трансплантате, который подвергается некрозу и распаду. Эти данные могут быть использованы в исследованиях по аллотрансплантации суставов под прикрытием иммуносупрессоров нового поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захария К. // Ортопед. травматол.— 1975.— № 7.— С. 14—19.
2. Beveridge T. // Transplant. Proc.— 1983.— Vol. 15.— P. 433.
3. Goldberg V. M., Porter B. B., Lance E. M. // J. Bone Joint Surg. [Am.].— 1980.— Vol. 62.— P. 414.
4. Lipson R. A. et al. // Clin. Orthop.— 1981.— № 160.— P. 279—289.
5. O'Brien B. M. Microvascular Reconstructive Surgery.— Edinburgh, 1977.— P. 267—276.
6. Yaremchuk M. J. et al. // Plast. Reconstr. Surg.— 1983.— Vol. 1, № 4.— P. 461—471.
7. Yaremchuk M. J. // Plast. Reconstr. Surg.— 1985.— Vol. 1, № 3.— P. 355—362.

SURGICAL ASPECTS OF TOTAL KNEE JOINT GRAFTING ON A VASCULAR PEDICLE IN EXPERIMENT

Yu. A. Markov, A. I. Kaveshnikov, A. E. Evgraphov,
N. A. Stesarenko, I. S. Kosov

Experimental model of total knee joint grafting on a vascular pedicle is elaborated in experiment. This model provides the restoration of joint function in the postoperative period. It is determined that anastomosis of vessels with restoration of blood flow through popliteal artery gives the most adequate blood supply of the graft and all segments of the recipient extremity. We obtained data on the process of rejection and these data can be used in the studies on joint allografting with application of immunosuppressants of new generation.