

© Группа авторов, 1999

Применение трехмерной визуализации и компьютерной волюметрии для количественной оценки репаративного остеогенеза и органотипической перестройки новообразованной кости

В.И. Шевцов, Н.А. Щудло, М.М. Щудло, А.А. Шрейнер, И.В. Ручкина

Use of three-dimensional visualization and computer volumetry for quantitative evaluation of reparative osteogenesis and organotypical reorganization of newly formed bone

V.I. Shevtsov, N.A. Chtchoudlo, M.M. Chtchoudlo, A.A. Shreiner, I.V. Roochkina

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)

Изучение костных структур на основе данных томографических исследований постепенно находит применение в травматологии-ортопедии (1), при этом отмечается высокая корреляция компьютерных томограмм и гистологических срезов (2), а также надёжность результатов волюметрии (3). При выделении теней костей из других тканей используют сегмента-

цию изображений на основе порога интенсивности (1), однако для решения многих задач диагностики и научных исследований необходимы более изощрённые способы сегментации.

Цель – разработка технологии прижизненной количественной оценки динамики развития костного регенерата в трехмерных компьютерных реконструкциях по сериям томограмм.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

У собаки с сегментарным дефектом диафиза большеберцовой кости, изолированным биологически инертной пленкой, при стабильной фиксации сегмента (4) на 14, 21 и 28 дни после операции выполнена компьютерная томография с шагом и толщиной срезов 1мм. Для исключения артефактов, связанных с наличием металлических деталей, в день исследования стандартные узлы соединения опор аппарата для чрескостного остеосинтеза заменяли специальными (Шевцов В.И., Щудло М.М., Щудло Н.А, заявка

на патент № 96124163, приоритет от 30.12.96). Получены 3 серии томограмм из 41 сканов каждая. С помощью специально разработанных приемов сегментации составлено 48 сеансов трехмерной реконструкции топологически разных структур регенерата и проведена их объёмометрия в программе VT-3D фирмы "IstaVideoTest" (Санкт-Петербург), после чего однокомпонентные реконструкции были сведены в единые изображения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На 14-й день фиксации выбухающие из костно-мозгового канала опилов в диастаз костные регенераты, сформированные преимущественно в результате реакции эндоста и костного мозга, имели булавовидную форму (рис. 1). Заполняющая дефект часть проксимального регенерата занимала объём 0,72 см³, дистального - 0,36 см³. В 8 срезах из 26, выполненных на уровне диастаза, тени костных структур отсутствовали. Периостальные регенераты выявлены только в одном срезе у проксимального и также в одном – у дистального опилов костных фрагментов в

виде тонкой серповидной тени преимущественно по задне-латеральной полуокружности снаружи от проекции внешнего контура кортикальной пластинки. На последующих сроках наблюдения они вошли в состав новообразованной кортикальной пластинки.

На 21-й день фиксации у опилов проксимального костного фрагмента появилась высокоинтенсивная тень "замыкательной пластинки" объёмом 0,082 см³ как результат слияния эндостального, периостального, а также интермедиального регенератов. В 3 мм дистальнее замыка-

тельной пластинки в периферических участках экстремедуллярного эндостального регенерата, за исключением латерального квадранта, определяются очаги просветления, соответствующие, по-видимому, каналукулярной резорбции. В ещё более дистальных срезах отчётливо выделяется тень новообразованной кортикальной пластинки объёмом $0,079 \text{ см}^3$, имеющая форму полого усечённого полуконуса. У опиала дистального фрагмента кости "замыкательная пластинка" не выявлена. Взаимоотношения эндостального регенерата и новообразованной кортикальной пластинки аналогичны проксимальному уровню, однако последняя, хотя и подобна проксимальной по форме и расположению, существенно меньше в объёме (таблица 1).

Таблица 1

Срок эксперимента (сутки)	Объём (мм^3) эндостальных регенератов на проксимальном/дистальном уровнях	Объём (мм^3) «замыкательной пластинки»	Объём (мм^3) новообразованной кортикальной пластинки на проксимальном/дистальном уровнях
14	720 / 360	0	6,1 / 2,9
21	660 / 195	82/0	88,5 / 12,0
28	360 / 177	68/0	96,0 / 146,0

На 28-й день фиксации не содержали костных структур всего лишь два скана из 26, выполненных на уровне диастаза. Интрамедуллярный отдел эндостального регенерата на уровне проксимального фрагмента увеличился в объёме, а на дистальном уровне почти полностью резорбировался (Рис. 2.). Объём замыкательной пластинки несколько уменьшился - $0,068 \text{ см}^3$ - именно на этом уровне полоса резорбции отделила от замыкательной пластинки три закладки новообразованной кортикальной пластинки (уже в следующем срезе их остаётся две, а затем только одна).

Интересно отметить, что края закладок кортикальной пластинки на проксимальном и дистальном уровнях приблизительно конгруентны; при этом протяжённость новообразованной проксимальной кортикальной пластинки в 2 раза больше, чем дистальной, однако дистальная примерно в 1,5 раза объёмнее (таблица 1), по-

скольку её закладки имеют большую толщину по сравнению с проксимальной.

На основе приведённых в таблице первичных объёмных параметров, отражающих формирование и органотипическую перестройку регенерата, можно рассчитать ряд производных.

Это, в частности, коэффициент асимметрии компонентов регенерата (отношение их объёмов на проксимальном и дистальном уровне), коэффициент прироста каждого компонента (например, $V_{28} - V_{14} / V_{14}$) или среднесуточную скорость прироста (например, $V_{21} - V_{14} / 7$).

Так, в данном эксперименте коэффициент резорбции экстремедуллярной части эндостального регенерата в период третьей и четвёртой недель эксперимента на проксимальном уровне составил 40,5%, а на дистальном 50,8%. Коэффициент прироста новообразованной кортикальной пластинки в этот же период был 93,6% и 98,0% соответственно.

Скорость резорбции экстремедуллярной части эндостального регенерата на проксимальном уровне составила на 3-й неделе эксперимента $8,6 \text{ мм}^3$ в сутки, а на 4-й неделе - $42,9 \text{ мм}^3$. Скорость прироста кортикальной пластинки в эти же периоды была, соответственно, $11,8 \text{ мм}^3$ и $1,1 \text{ мм}^3$ в сутки.

На дистальном уровне скорость резорбции экстремедуллярной части эндостального регенерата была на 3-й неделе $23,5 \text{ мм}^3$, на 4-й - $2,6 \text{ мм}^3$; прирост новообразованной кортикальной пластинки составил, соответственно, $1,3 \text{ мм}^3$ и $19,1 \text{ мм}^3$ в сутки. Обращает на себя внимание «зеркальность» динамических параметров на проксимальном и дистальном уровне.

В программе 3D можно достаточно точно экстраполировать объём «идеальной» кортикальной пластинки в зоне дефекта трубчатой кости. В данном эксперименте он составляет 3000 кубических миллиметров. Легко подсчитать, что суммарный коэффициент репарации кортикальной пластинки в зоне дефекта к 21 дню составил 3,4%, а к 28 дню он увеличился до 8,0%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегментация гомеоморфных структур в изображениях томограмм, выполненная в интерактивном режиме, позволила прижизненно выявить индивидуальные особенности строения костного регенерата, неразличимые при изучении обзорных рентгенограмм или продольных сечений реконструкций, построенных на компьютерном томографе, - в частности, наличие закладок новообразованной кортикальной пластинки уже на 3-й и 4-й неделях после резекции диафиза, а также их пространственные взаимо-

отношения с экстремедуллярной частью эндостального регенерата.

Объёмометрия выделенных структур представляет собой применимый в сравнительных исследованиях способ количественной оценки активности нередко одновременно протекающих процессов остеогенеза и органотипической перестройки новообразованных участков, роста и инволюции различных компонентов регенерата.

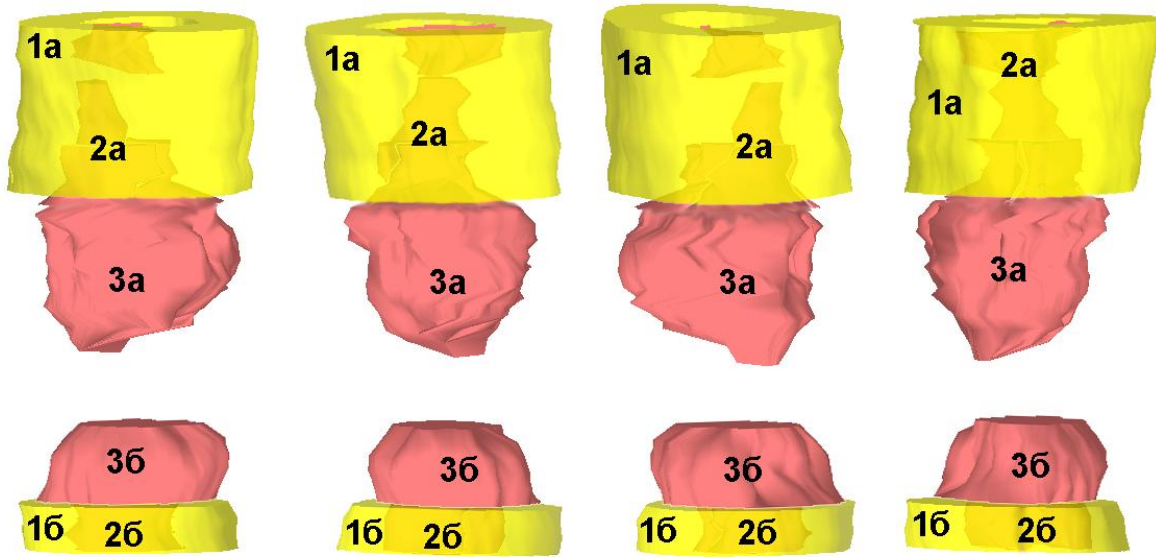


Рис.1. Передний, медиальный, задний и латеральный ракурсы совмещённой 3D-реконструкции проксимального (1а) и дистального (1б) опилов большеберцовой кости собаки №2603, интрамедуллярной (2а и 2б) и экстрамедуллярной (3а и 3б) частей эндостального регенерата. Срок эксперимента 14 дней.

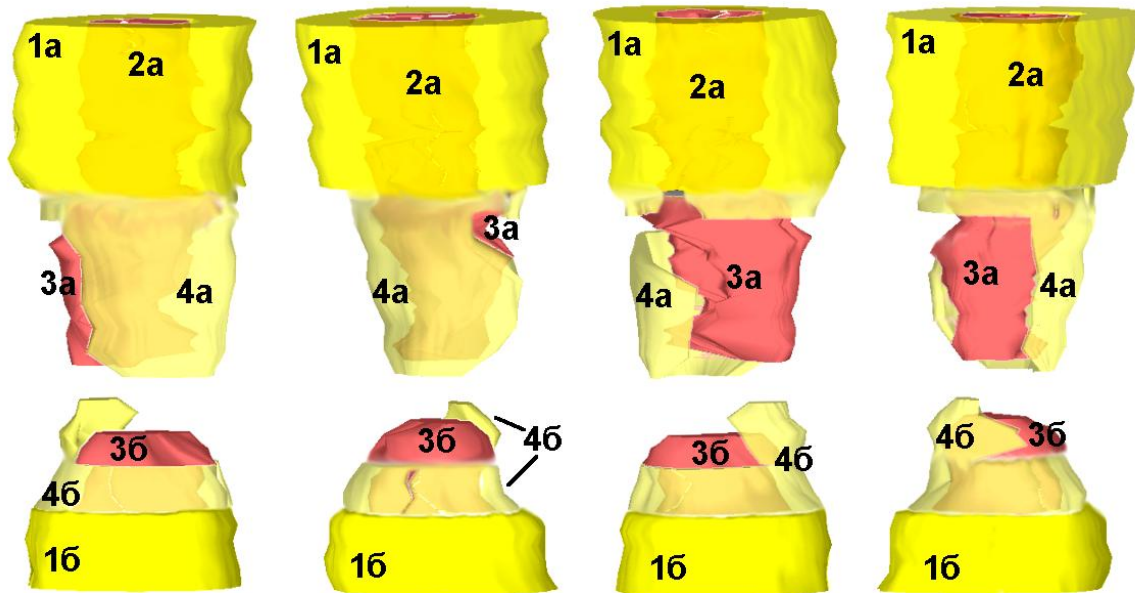


Рис.2. Передний, медиальный, задний и латеральный ракурсы совмещённой 3D-реконструкции проксимального (1а) и дистального (1б) опилов большеберцовой кости собаки №2603, интрамедуллярной (2а и 2б) и экстрамедуллярной (3а и 3б) частей эндостального регенерата, а также новообразованной кортикальной пластинки (4а и 4б). Срок эксперимента 28 дней

ЛИТЕРАТУРА

1. Визуализация объёма в медицине / А. Поммерт, Б. Пфлессер, М. Риермер. И др. // Открытые системы. - 1996. - Т.19, №5. - С. 56-61.
2. Assessment of bony bridge by computed tomography: experimental model in the rabbit and clinical application / S. Porat, M. Nyska, A. Nyska, S. Fields // J. Pediatr.Orthop. - 1987. - Vol.7, № 2. - P. 155-160.
3. A CT scan technique for quantitative volumetric assessment of the mandible after distraction osteogenesis / D. A. Roth, A. K. Gosain, J. C. McCarthy et al. // Plastic Reconstr. Surg. - 1997. - Vol. 5, № 99. - P. 1237-1247.
4. А.С. № 982672 (СССР) МКИ³ А 61 В 17/00; Способ костной пластики / Илизаров Г.А. (СССР), Шрейнер А.А. (СССР). - № 3301834/28-13; Заявлено 17.06.81; Оpubл. 23.12.82. Бюл. №47.- С.21-22.

Рукопись поступила 29.03.1999.