

© Группа авторов, 2000

Рентгенологическая динамика костеобразования при последовательном дистракционно-компрессионном остеосинтезе (экспериментальное исследование)

А.В. Попков, С.А. Ерофеев, Д.А. Попков

Roentgenological dynamics of osteogenesis in consecutive distraction-compression osteosynthesis (Experimental study)

A.V. Popkov, S.A. Yerofeyev, D.A. Popkov

Государственное учреждение науки

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

На взрослых беспородных собаках проведена апробация методики последовательного дистракционно-компрессионного остеосинтеза (одномоментная компрессия регенерата на высоту соединительно-тканной прослойки по окончании дистракции) при удлинении голени и проведен анализ рентгенологической динамики костеобразования. Проведенное рентгенологическое исследование перестройки дистракционного регенерата после его одномоментной компрессии с определенными дозированными усилиями свидетельствует о стимулирующем влиянии данного способа на раннее формирование в полученном дистракционном диастазе костной ткани.

Ключевые слова: эксперимент, собака, голень, удлинение, дистракционно-компрессионный остеосинтез, костеобразование, рентгенология, компьютерная томография.

A technique of consecutive distraction-compression osteosynthesis (acute compression of a regenerate bone, eliminating connective-tissue interlayer all over its height, after the end of distraction) during leg elongation was evaluated, using adult mongrel dogs, and analysis of roentgenological dynamics of osteogenesis was made. The roentgenological study of reorganization of distraction regenerate bone after its acute compression with certain graduated forces demonstrates stimulating effect of the technique on early formation of bone tissue in the distraction gap obtained.

Keywords: experiment, dog, leg, elongation, distraction-compression osteosynthesis, osteogenesis, roentgenology, computer tomography.

Способы уравнивания длины конечностей по методу Илизарова обеспечивают восстановление анатомии, строения и функции костного органа, но требуют много времени для трансформации сформировавшегося дистракционного регенерата в новую кость. Общий срок лечения больных в зависимости от величины удлинения колеблется от 4-х до 18 месяцев [1, 2].

С целью ускорения перестройки новообразованной костной ткани в РНЦ "ВТО" был предложен и экспериментально апробирован ряд способов "воспитания" регенерата: дозированное сближение опор аппарата, последовательное удаление спиц и прочие [3]. Метод "воспитания" регенерата используют украинские ортопеды.

Они для ускорения перестройки регенерата применили управляемые механодинамические воздействия при помощи специально разработанных устройств [4]. В последнее время в нашем Центре применяется предложенный В.И. Шевцовым и А.В. Попковым новый способ стимуляции перестройки дистракционного регенерата, который заключается в переудлинении кости с последующим одномоментным сближением костных частей регенерата до их контакта и дозированной компрессии [5, 6]. Целью настоящей работы явились экспериментальная апробация указанного способа и анализ динамики костеобразования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты проведены на 8 взрослых беспородных собаках в возрасте 1 - 3 года, с

массой тела 16 - 25 кг, длиной голени 17,7 - 21,3 см. Содержание животных, оперативные вмеша-

тельства и эвтаназию осуществляли согласно приказу МЗ СССР N 755, 1977 г. Под внутривенным наркозом 5% раствором тиопентала натрия на голень собаки накладывали аппарат Илизарова из двух дуг и двух колец с фиксацией каждого конца кости двумя парами перекрещивающихся спиц. Перелом диафиза берцовых костей получали с помощью методики закрытой флекссионной остеоклазии [7]. Отломки сопоставляли, осуществляя нейтральный синтез. Через 5 дней после операции начинали удлинение голени в режиме 1 мм в день за 4 этапа при разовой величине удлинения 0,25 мм. Дистракция осуществлялась 35 дней. По завершении дистракции, в день окончания удлинения, производили одномоментную компрессию дистракционного регенерата на высоту прослойки с измерением компрессирующих усилий. Опоры сближали руками до контакта трабекулярных структур регенерата, компрессионные усилия дозированно доводили до 7,2 - 14,9 кгс. Усилия измеряли с помощью специально разработанных тензорезисторных датчиков, которые представляют собой тонкостенный цилиндр с наклеенными на его поверхность тензорезисторами, соединенными в измерительный мост. Датчик имеет резьбовые хвостовики и устанавливается между центральными опорами аппарата. Уси-

лия, применяемые к датчику, вызывают в стенках цилиндра деформацию, которая воспринимается тензорезисторами и приводит к разбалансировке измерительного моста. Используя тарировочный коэффициент, определенный заранее для каждого датчика, высчитывали усилие на стержне. Алгебраическая сумма усилий, регистрируемая на стержнях аппарата, соответствует тому сопротивлению тканей, которое необходимо преодолеть при удлинении (дистракционные усилия), либо тому усилию, которое испытывает регенерат при сближении опор аппарата (компрессионные усилия). Шаровый конец датчика позволяет корректировать расположение оси датчика относительно прикладываемой нагрузки, устанавливая его в любой плоскости и тем самым исключая влияние поперечных и скручивающих сил. В ходе эксперимента за животными осуществляли клиническое наблюдение и рентгенологический контроль. Рентгенографию голени проводили в день операции, через каждые 7 дней дистракции, фиксации, а также после выполнения компрессии и через месяц после снятия аппарата. В конце дистракции и через 7 - 14 дней после компрессии проводили компьютерную томографию дистракционного регенерата.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дистракция. К 35 дням удлинения (8 собак) диастаз протяженностью $33,9 \pm 0,4$ мм (рис. 1а) был заполнен тенями дистракционного регенерата продольно исчерченной структуры, имеющего зональное строение. Поперечник формирующегося регенерата в 3-х опытах был равен поперечнику концов прилежащих костных фрагментов, в 3-х - больше на 1-2 мм и в 2-х - меньше на 1-3 мм. Высота проксимального костного отдела достигала 10,4-17,7 мм, дистального - 10,6-15,8 мм. Разделяющая их "зона роста" высотой 2,6-8,0 мм в 6 опытах в проекции эндостальной части регенерата была пересечена трабекулярными тенями, сливающимися в костные «мостики». В 2-х наблюдениях тени, пересекающие прослойку, были единичные. Костный "футляр" а.nutricia определялся у 7 животных, причем у 4-х из них он был виден на всем длиннике регенерата, в 3-х случаях "футляр" отмечен только в проксимальном или дистальном отделе регенерата. Контур формирующейся корковой пластинки определялись в 3-х опытах с 2-3-х сторон регенерата, в 3-х - с 1-2 сторон и еще в 2-х наблюдениях они не выявлялись. Тени периостальных наслоений на костных фрагментах определялись в большинстве случаев и были более выражены на медиальной и задней поверхности кости. Протяженность периостальных наслоений колебалась от 5 до 65 мм, а толщина их - от 0,5 до 3,5 мм. Дополнительные зоны

просветления протяженностью 1-8 мм выявлены в 7 наблюдениях. Эндостальная реакция в костномозговой полости фрагментов определялась только в 1 опыте в области проведенных спиц. К этому сроку эксперимента относительная величина удлинения голени в среднем составила $18,0 \pm 0,4\%$ (16-20%). Следует отметить, что в одном случае костеобразование было замедленным, о чем свидетельствует высота прослойки, которая составила 9,0-13,5 мм.

Компрессия. У 7 собак сразу же по завершении дистракции производили одномоментную компрессию дистракционного регенерата на высоту прослойки с измерением вначале дистракционных, которые составляли в среднем $31,4 \pm 6,6$ кгс, а затем компрессирующих усилий, которые были в средних пределах $12,3 \pm 1,1$ кгс. Для выяснения, какие дистракционные усилия приходятся непосредственно на долю регенерата, через 35 дней дистракции у одного животного после эвтаназии, послойно, поочередно пересекались мягкие ткани, и измерялись дистракционные усилия. Результаты исследования показали, что на долю регенерата приходится 17,7% общих усилий, на долю кожи и поверхностной фасции - 1,3%, мышц - 7,8% и самое большое сопротивление удлинению создают глубокие фасции, межмышечные перегородки и остальные ткани - 73,2%.

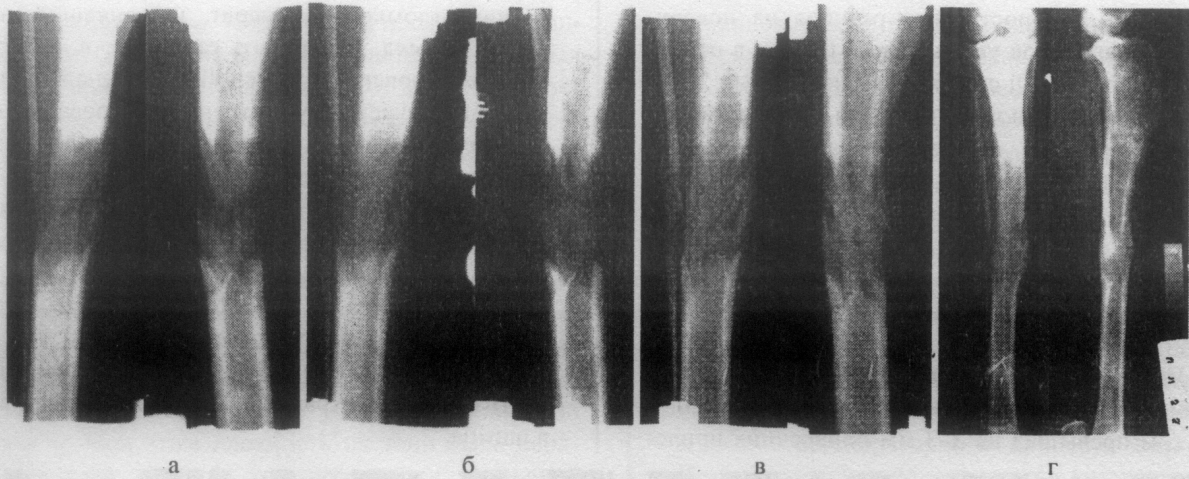


Рис. 1. Костеобразование в условиях одномоментной компрессии дистракционного регенерата: а – дистракция 35 дней, б – компрессия регенерата (прослойки), в – фиксация 19 дней, был снят аппарат, г – без аппарата 30 дней. Собака № 1223

Результаты измерений дистракционных усилий, прикладываемых компрессионных усилий и сохранение последних в первую неделю фиксации показаны в таблице 1.

Таблица 1.

Дистракционные и компрессионные усилия

№ собаки	Дистракционные усилия (кгс)	Компрессионные усилия в период фиксации (кгс)		
	Д-35 дн.	1 сутки	3-5 дней	6-7 дней
1213	34,4	-	-	-
1290	4,9	14,2	6,0	-
1244	37,7	10,3	11,9	4,4
1253	12,6	14,7	-	6,0
1223	27,2	12,9	18,8	7,0
1225	42,1	7,2	-	15,2
0969	54,0	13,9	5,9	7,8

После компрессии диастаз уменьшился в среднем на $5,0 \pm 1,0$ мм (потеря высоты диастаза колебалась от 1 до 9 мм), его высота в среднем равнялась $28,4 \pm 0,5$ мм (25–32 мм), что составило $15,0 \pm 0,07\%$ (12–18%) от исходной длины голени. Изучение по рентгенограммам (рис. 1б) области прослойки регенерата после ее компрессии показало, что в двух опытах сохранялась прослойка высотой до 3-х мм, еще в двух – она была полностью перекрыта тенями костных отделов регенерата и в трех – на месте прослойки определялись отдельные участки просветления. Сохранение прослойки в том или ином объеме зависело от наличия трабекулярных теней, которые перекрывали или внедрялись в нее к концу периода дистракции. Эти трабекулярные структуры при выполнении компрессии соприкасались между собой и, имея достаточно высокую минерализацию, не подвергались разрушению под воздействием прикладываемых компрессионных усилий, которых было доста-

точно для сминания мягкотканного компонента соединительно-тканной прослойки. Это хорошо видно на компьютерных томограммах, на серийных срезах продольных реконструкций дистракционного регенерата (рис. 2). На поперечных серийных томограммах отмечено, что после компрессии в области прослойки преобладают минерализованные структуры, имеющие на изображениях регенерата более высокую оптическую плотность (рис. 3).

Период фиксации. Через две недели фиксации (5 собак) в большинстве опытов поперечник регенерата на 1-3 мм превышал поперечник прилежащих отломков как в прямой, так и в боковой проекциях анализируемых рентгенограмм. В 1 опыте четко не определялось зональное строение регенерата из-за слияния костных отделов на месте соединительно-тканной прослойки. В 1 случае была видна срединная прослойка, протяженность костных отделов регенерата составляла: проксимального 13-25 мм, дистального 12-17 мм, прослойку пересекали слившиеся в костные "мостики" тени трабекул. В остальных наблюдениях срединная зона просветления была замещена на 2/3 или 3/4 тенями трабекул, причем сохранившиеся ее отдельные участки в виде щелей или неправильных окружностей имели высоту в среднем $4,3 \pm 0,6$ мм (2–8 мм), и их пересекали нитевидные трабекулярные тени. К этому сроку менялась структура регенерата. В 2-х наблюдениях практически на всем протяжении она становилась гомогенной. В остальных – в центральной части регенерата сохранялась продольная исчерченность, а у оснований костных отделов регенерата она была гомогенной. По периферии регенерата со всех сторон определялись тени формирующейся корковой пластинки. У 2-х собак эти тени с 2-х сторон полностью перекрывали диастаз. В остальных наблюдениях непрерывная корковая пластинка определялась только с одной из сторон, на трех других она прерывалась на уровне

прослойки. Периостальная реакция на поверхности фрагментов уменьшалась и была в основном с медиальной стороны. Тени костных "футляров" питательной артерии были нечеткими, размытыми. При дальнейшем наблюдении консолидация регенерата в одном опыте наступила через 19 дней фиксации (рис. 1в), в другом – через 27 дней и еще в одном – через 45 дней фиксации. В первом и последнем случаях на основании клинической пробы был снят аппарат.

Через 27, 45 дней фиксации (2 собаки) поперечник регенерата в одном случае был равен, в другом превышал на 2–3 мм поперечник приле-

жащих отломков. Регенерат, заполнявший диастаз, не имел зонального строения, в области компрессированной прослойки отмечалось чередование участков уплотнения и просветления. Структура регенерата у его оснований была гомогенной, в центральной части – продольно исчерченной. Непрерывные корковые пластинки толщиной 0,5–1,5 мм в одном опыте с 3-х сторон, в другом – с 2-х сторон полностью перекрывали диастаз. Периостальные наслоения определялись в местах проведения спиц (третьей пары), там же отмечена эндостальная реакция в отломке. Сохранялся костный «футляр» a.nutritia.

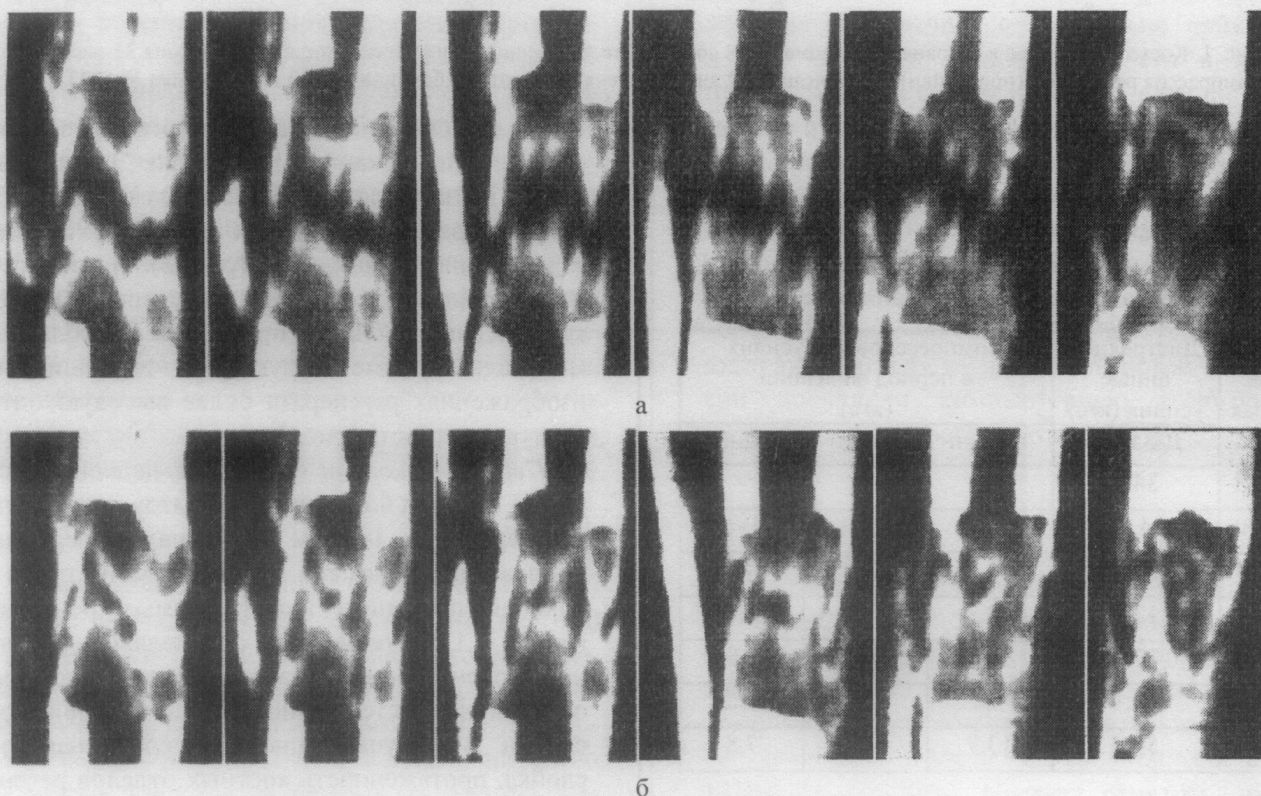


Рис. 2. Продольные реконструкции томограмм distraction регенерата: а - через 35 дней distraction; б - через 7 дней после компрессии. Собака № 5003

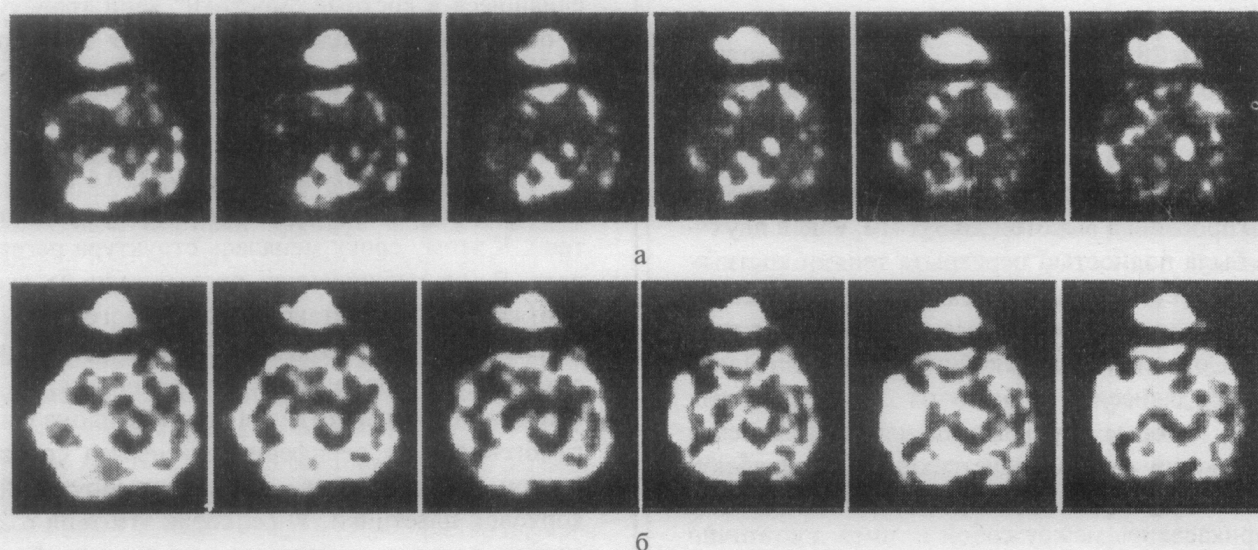


Рис. 3. Компьютерные томограммы (поперечные срезы через 1 мм от проксимального участка регенерата к дистальному) области "зоны роста" distraction регенерата: а - через 35 дней distraction, б - через 7 дней после компрессии регенерата. Собака № 5003

Без аппарата. Через месяц после снятия аппарата (2 собаки: в одном опыте аппарат был снят через 19 дней фиксации, в другом – через 45 дней фиксации). В эксперименте, где фиксация продолжалась 19 дней (рис. 1г), регенерат имел бочкообразную форму и в основном сохранял продольно исчерченную структуру. В центре, в области бывшей прослойки, тень была более плотная, с участками просветления, подчеркивающими границу слияния костных отделов регенерата. Новообразованные корковые пластинки по толщине приближались к корковым пластинкам других участков удлиненной кости. При этом плотность их тени была неоднородной: в месте компрессии тень корковой пластинки была менее интенсивной.

В другом опыте (фиксация 45 дней) регенерат претерпел более заметную органотипическую перестройку. Его поперечник в прямой проекции был равен прилежащим участкам кости, а в боковой – на 1 мм больше. В регенерате определялась гомогенная структура за счет формирования костно-мозговой полости на всем его протяжении. Толщина новообразованных корковых пластинок была на 0,5-1,0 мм меньше материнских корковых пластинок, и несколько ниже была их плотность. Следует отметить, что

в данном опыте период distraction сопровождался замедленной регенерацией костной ткани. К концу distraction определялась высокая, до 10 мм прослойка, высота проксимального костного отдела регенерата была 10-17 мм, дистального – 8-15 мм, поперечник регенерата был на 1-2 мм меньше поперечника отломков. Такую же картину мы ранее наблюдали при удлинении конечности в условиях однократной (по 1 мм) дробности distraction [8]. Для замещения прослойки костной ткани в тех опытах потребовалось 90-120 дней фиксации. Следовательно, даже в неблагоприятных условиях способ стимуляции регенераторного процесса Шевцова-Попкова ускоряет консолидацию distractionного регенерата в 2-3 раза.

Таким образом, для замещения соединительно-тканной прослойки регенерата костной тканью в разных опытах потребовалось 15, 19, 27 и 45 дней фиксации. Проведенный рентгенологический анализ перестройки distractionного регенерата после его одномоментной компрессии с определенными дозированными усилиями свидетельствует о стимулирующем влиянии данного способа на раннее консолидирование distractionного регенерата в период фиксации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трохова В.Г. Оперативное удлинение бедра по Г.А.Илизарову: Дис... канд. мед. наук. – Курган, 1973. – 162 с.
2. Попков А.В. Оперативное удлинение нижних конечностей у взрослых больных методом Илизарова: Дис... д-ра мед. наук в форме научного доклада. – Иркутск, 1992. – 63 с.
3. Регенерация кости при удлинении голени в условиях изменения функциональных нагрузок / А.В. Попков, С.Я. Зевенко, А.А. Шрейнер, А.А. Свешников: Депонированная рукопись / Всерос. Курган. науч. центр "ВТО". – Курган, 1992. – 11 с. – Деп. во ВНИИМИ, № 22194.
4. Пустовойт М. И., Кошквич И. М., Струтинский Я.И. Воспитание distractionного регенерата по Илизарову с помощью управляемых механодинамических воздействий // Метод Илизарова – достижения и перспективы: Тез. докл. международ. конф., посвящ. памяти акад. Г.А. Илизарова. – Курган, 1993. – С.225 – 226.
5. Шевцов В.И., Попков А.В. Distractionно-компрессионный остеосинтез при удлинении конечностей аппаратом Илизарова // Травматология и ортопедия России. – 1995. – №1. – С. 35 - 38.
6. Шевцов В.И., Попков А.В. Стимуляция перестройки distractionного регенерата // Анналы травматологии и ортопедии. – 1995. – №2. – С.23-26.
7. Илизаров Г.А., Шрейнер А.А. Закрытая остеотомия трубчатых костей в эксперименте // Теоретические и практические аспекты чрескостного компрессионного и distractionного остеосинтеза: Тез. докл. – Курган, 1976. – С. 38-40.
8. Ерофеев С.А. Значение дробности distraction при удлинении конечности по Илизарову (эксперим. исследование): Автореф. дис...канд. мед. наук. – Пермь, 1994. – 23 с.

Рукопись поступила 14.01.2000.