



# Динамика плотности парафрактурной костной ткани при несвежих и застарелых повреждениях голеностопного сустава

Сутягин И.В., Нижечик С.А., Степанов Р.В., Нецветов П.В., Бурцев А.В.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России,  
ул. Марии Ульяновой, 6, Курган, 640005, Российская Федерация

**Сутягин Илья Вячеславович**, врач травматолог-ортопед ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;  
<http://orcid.org/0000-0001-8446-1434>

**Нижечик Сергей Александрович**, врач-рентгенолог ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;  
<http://orcid.org/0000-0002-5145-5190>

**Степанов Роман Викторович**, врач-рентгенолог ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;  
<http://orcid.org/0000-0003-4656-8139>

**Нецветов Павел Владимирович**, врач-рентгенолог ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;  
<http://orcid.org/0000-0001-6779-6806>

**Бурцев Александр Владимирович**, и. о. директора ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;  
<http://orcid.org/0000-0001-8968-6528>

## Резюме

**Цель:** определение клинических стадий переломов лодыжек на основании анализа компьютерных томограмм (КТ) пациентов в различные сроки с момента травмы и выявление особенностей, наблюдаемых при различных типах несвежих и застарелых повреждений голеностопного сустава.

**Материал и методы.** Проведено открытое нерандомизированное моноцентровое исследование, включившее 48 пациентов (15 мужчин, 33 женщины) в возрасте от 27 до 68 лет (средний возраст 45 лет) с нестабильными переломами лодыжек типов В и С по Weber. Методом КТ анализировали плотность парафрактурной костной ткани и ее зависимость от срока с момента травмы.

**Результаты.** Средняя плотность костной ткани дистального отломка наружной лодыжки у пациентов в сроки до 15 сут составила  $403,25 \pm 63,74$  НУ, в сроки от 15 до 32 сут –  $359,85 \pm 71,34$  НУ, в сроки более 32 сут –  $271,91 \pm 73,34$  НУ. Плотность парафрактурной костной ткани обратно пропорциональна срокам с момента травмы (коэффициент корреляции  $-0,678$ ) и величине межотломкового диастаза (коэффициент корреляции  $-0,396$ ). Не выявлено статистически значимой зависимости относительной плотности парафрактурной костной ткани от возраста пациента (коэффициент корреляции  $-0,177$ ). Плотность парафрактурной костной ткани достоверно снижалась ( $p = 0,05$ ) в сроки более 14 сут с момента травмы и составляла 80% и менее ( $p = 0,0004$ ) от плотности костной ткани интактной конечности в сроки 32 сут с момента травмы. Признаки консолидации появлялись в среднем на 28-е сутки с момента травмы при диастазе между отломками менее 1 мм.

**Заключение.** С точки зрения предоперационного планирования факторы, негативно влияющие на плотность костной ткани в зоне перелома при несвежих и застарелых повреждениях голеностопного сустава, подвержены изменениям в сроки 14 и 32 сут с момента травмы.

**Ключевые слова:** перелом лодыжки; плотность костной ткани; качество кости; застарелый перелом; компьютерная томография.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Сутягин И.В., Нижечик С.А., Степанов Р.В., Нецветов П.В., Бурцев А.В. Динамика плотности парафрактурной костной ткани при несвежих и застарелых повреждениях голеностопного сустава. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2022; 103(1–3): 6–14. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-1-3-6-14>

**Для корреспонденции:** Сутягин Илья Вячеславович, E-mail: [pr\\_sutyagin@bk.ru](mailto:pr_sutyagin@bk.ru)

Статья поступила 29.12.2021

После доработки 20.01.2022

Принята к печати 21.01.2022

# Local Bone Density in Neglected Ankle Fractures

Ilya V. Sutyagin, Sergey A. Nizhechik, Roman V. Stepanov,  
Pavel V. Netsvetov, Alexander V. Burtsev

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics,  
ul. Marii Ulyanovoy, 6, Kurgan, 640005, Russian Federation

**Ilya V. Sutyagin**, Orthopaedic Surgeon, Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics;  
<http://orcid.org/0000-0001-8446-1434>

**Sergey A. Nizhechik**, Radiologist, Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics;  
<http://orcid.org/0000-0002-5145-5190>

**Roman V. Stepanov**, Radiologist, Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics;  
<http://orcid.org/0000-0003-4656-8139>

**Pavel V. Netsvetov**, Radiologist, Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics;  
<http://orcid.org/0000-0001-6779-6806>

**Alexander V. Burtsev**, Acting Director, Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics;  
<http://orcid.org/0000-0001-8968-6528>

## Abstract

**Objective:** determining the neglected ankle fractures clinical stages based on the analysis of computed tomograms (CT) at various time from the injury and radiological findings in different types of ankle injury.

**Material and methods.** An open randomized multicenter study included 48 patients with Weber type B and C ankle fractures (15 males, 33 females) aged from 27 to 68 years old (mean age 45 years old). The result of the CT analysis for each patient was the ratio of bone density on the damaged side to the bone density of the intact ankle. Next, the correlation was defined between the attitude and time from injury (in days) as well as diastasis (in millimeters) and age (in years).

**Results.** Mean bone density in the period up to 15 days was  $403.25 \pm 63.74$  HU, in the period between 15 and 32 days –  $359.85 \pm 71.34$  HU, in the period more than 32 days –  $271.91 \pm 73.34$  HU. Local bone density is inversely proportional to the time from injury (correlation coefficient  $-0.678$ ) and the fracture gap (correlation coefficient  $-0.396$ ). There was no significant dependence of local bone density on the patient's age (correlation coefficient  $-0.177$ ). Local bone density significantly ( $p = 0.05$ ) decreased in the period of more than 14 days from the injury and was 80% and less from intact bone density in the period of more than 32 days from the injury ( $p = 0.0004$ ). Signs of fracture healing appeared, in average, on the 28<sup>th</sup> day after the injury with the fracture gap less than 1 mm.

**Conclusion.** From the point of view of preoperative planning, neglected ankle fractures bone density critical points are 14<sup>th</sup> and 32<sup>nd</sup> days after injury.

**Keywords:** ankle fracture; bone density; bone quality; neglected ankle fracture; computed tomography.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Sutyagin IV, Nizhechik SA, Stepanov RV, Netsvetov PV, Burtsev AV. Local bone density in neglected ankle fractures. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2022; 103(1–3): 6–14 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-1-3-6-14>

**For corresponding:** Ilya V. Sutyagin, E-mail: [pr\\_sutyagin@bk.ru](mailto:pr_sutyagin@bk.ru)

Received December 29, 2021

Revised January 20, 2022

Accepted January 21, 2022

## Введение

Известно, что переломы лодыжек сами по себе не являются следствием низкой костной плотности и системного остеопороза [1]. Однако измененная микроархитектоника дистального метаэпифиза большеберцовой кости и наружной лодыжки у пожилых пациентов [2] позволяет отнести данные повреждения к переломам, происходящим на фоне остеопороза, наряду с переломами шейки бедренной кости, дистального метаэпифиза лучевой кости и тел поясничных позвонков [3].

Существуют публикации, посвященные исследованию плотности костной ткани при переломах лодыжек [4, 5]. Как правило, они направлены на установление взаимосвязи последних с системным остеопорозом и определение их как предиктора последующих переломов [6–12]. Однако вторичный локальный остеопороз, формирующийся при несвежих и застарелых повреждениях голеностопного сустава, остается малоизученной проблемой [13–19].

Снижение плотности парафрактурной костной ткани осложняет оперативное лечение переломов лодыжек, так как имеется повышенный риск нестабильного остеосинтеза, вторичного смещения отломков, миграции имплантов [20–24]. Вышеперечисленные факторы усугубляются также отсутствием возможности полноценной ранней нагрузки на оперированную конечность при использовании погружных металлоконструкций [25]. При оперативном лечении несвежих и застарелых повреждений голеностопного сустава существует риск как недооценки тяжести повреждения и первично-нестабильного остеосинтеза, так и ее переоценки, приводящей к избыточному объему оперативного вмешательства и фиксации, что отрицательно сказывается на функциональных результатах.

На сегодняшний день отсутствует классификация переломов костей, в частности лодыжек, в зависимости от сроков с момента травмы. Классификация переломов на замедленно срастающиеся, несросшиеся, неправильно консолидирующиеся, ложные суставы, учитывает временной фактор, но характеризует постфрактурный процесс лишь на поздних сроках на основании наличия или отсутствия признаков консолидации [26]. Известна классификация вывихов и подвывихов на свежие (до 3 сут с момента травмы), несвежие (до 3 нед), и застарелые (свыше 3 нед) [27]. Наружный подвывих стопы имеет место при большинстве нестабильных переломов лодыжек типов В и С по Weber, так как по существу они являются переломовывихами [28]. Временной фактор также важен для определения тактики лечения подвывиха, однако данная классификация имеет сомнительное клиническое значение при лечении переломов лодыжек. Кроме того, в работах, посвященных последствиям повреждений голеностопного сустава, она не использовалась [29].

Тактика оперативного лечения нестабильных переломов лодыжек должна учитывать клинические стадии и сроки с момента травмы, однако исследования, направленные на определение критических точек, отсутствуют, а использование терминологически некорректного понятия «застарелый перелом» лишь затрудняет определение целей лечения и показаний к изменению степени стабильности фиксации и объема оперативного вмешательства [29]. Помимо интерпозиции рубцовой ткани основными факторами, затрудняющими оперативное лечение пациентов с несвежими и застарелыми повреждениями голеностопного сустава, являются остеопороз парафрактурной костной ткани, резорбция концов отломков и процесс консолидации различной степени выраженности [13]. Эти три фактора могут быть исследованы и измерены в абсолютных значениях только при помощи компьютерной томографии (КТ). Наибольшее кли-

ническое значение имеет плотность костной ткани дистального отломка наружной лодыжки, так как его качественная репозиция и стабильная фиксация имеют решающее значение в успехе остеосинтеза при чрессиндесмозных и надсиндесмозных переломах лодыжек [28].

**Цель исследования** – определение клинических стадий переломов лодыжек на основании анализа КТ пациентов в различные сроки с момента травмы и выявление особенностей, наблюдаемых при различных типах несвежих и застарелых повреждений голеностопного сустава.

## Материал и методы

Критериями включения являлись наличие у пациента нестабильного перелома лодыжек типов В и С по Weber, а также выполненная КТ поврежденного и интактного голеностопных суставов.

Критерии исключения: наличие КТ только поврежденного голеностопного сустава, открытые переломы лодыжек, перенесенные ранее повреждения исследуемого голеностопного сустава, а также наличие металлоконструкций в области перелома.

За период с ноября 2020 г. по ноябрь 2021 г. в травматолого-ортопедическом отделении № 1 НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова наблюдались 187 пациентов с переломами лодыжек. Сроки с момента травмы составляли от 3 до 175 сут (в среднем 45 сут). Из них критериям включения соответствовали 48 больных (15 мужчин и 33 женщины) в возрасте от 27 до 68 лет (средний возраст 45 лет) (см. таблицу).

**Распределение пациентов по полу и возрасту**  
**Distribution of patients by gender and age**

Пол / Gender	Число пациентов, n (%) / Number of patients, n (%)	Средний возраст (диапазон), лет / Mean age (range), years
Мужской / Male	15 (31,3)	38 (27–53)
Женский / Female	33 (68,7)	49 (30–68)

КТ выполняли на компьютерном томографе Toshiba Aquilion 64, анализ томограмм проводили в программе Vidar InfoRad 3.0, статистическую обработку данных осуществляли в программе Microsoft Excel 16.16.27 (201012) с надстройкой AtteStat 12.0.5.

При анализе томограмм голеностопного сустава проводили мультипланарную реконструкцию в режимах Bone и Soft Tissue и позиционирование плоскости исследуемого среза на уровне щели голеностопного сустава в истинной прямой





Рис. 1. Позиционирование плоскости срезов и измерение костной плотности на томограммах поврежденного (а) и intactного (b) голеностопных суставов. Срок с момента травмы – 32 сут

Fig. 1. Plane positioning and bone density measurement in injured (a) and intact (b) ankles, 32 days after injury

проекции (кософронтальная плоскость, включающая межлодыжечную линию) параллельно суставным поверхностям дистального эпифиза большеберцовой кости и блока таранной кости. После позиционирования среза выполняли измерение плотности в зоне интереса (аксиальный срез наружной лодыжки на уровне щели голеностопного сустава) путем выделения ее контуров с помощью инструмента «замкнутая кривая» (рис. 1). Измерение расстояния между отломками наружной лодыжки проводили в зоне наименьшего диастаза при помощи инструмента «отрезок» (рис. 2). Количественными критериями, получаемыми при измерении, являлись средняя плотность костной ткани, ограниченной замкнутой кривой, повторяющей контуры исследуемой зоны (наружной лодыжки), в единицах шкалы Хаунсфилда (HU), и межотломковый диастаз в миллиметрах (мм). Измерения выполняли на томограммах поврежденного и intactного голеностопного суставов

с целью сравнения их между собой и с референтными значениями.

При наличии значительного смещения отломка наружной лодыжки измерения проводили в зоне отломка, соответствующей зоне интереса на томограмме intactного голеностопного сустава: на том же расстоянии от верхушки наружной лодыжки и перпендикулярно оси отломка.

Результатом анализа томограмм каждого пациента являлось отношение плотности костной ткани на поврежденной конечности к плотности костной ткани intactной конечности. Далее выявляли корреляцию между отношением и сроками с момента травмы (сут), величиной межотломкового диастаза (мм), возрастом (лет).

## Результаты

Средняя плотность костной ткани дистального отломка наружной лодыжки у пациентов в сроки до 15 сут составила  $403,25 \pm 63,74$  HU (95,69%



Рис. 2. Измерение величины минимального межотломкового диастаза у пациента с переломом наружной лодыжки и заднего края дистального эпифиза большеберцовой кости (а–с). Срок с момента травмы – 3 сут

Fig. 2. Fracture gap measurement in a patient with lateral ankle and posterior tibial margin fracture (a–c), 3 days after injury

от плотности интактной наружной лодыжки), в сроки от 15 до 32 сут –  $359,85 \pm 71,34$  HU (90,87%), в сроки более 32 сут –  $271,91 \pm 73,34$  HU (73,14%). Плотность парафрактурной костной ткани обратно пропорциональна срокам с момента травмы (коэффициент корреляции  $-0,678$ ) и величине межотломкового диастаза (коэффициент корреляции  $-0,396$ ).

Не выявлено статистически значимой зависимости относительной плотности парафрактурной костной ткани от возраста пациента (коэффициент корреляции  $-0,177$ ). Плотность парафрактурной костной ткани достоверно снижалась ( $p = 0,05$ ) в сроки более 14 сут с момента травмы (рис. 3, 4) и составляла 80% и менее ( $p = 0,0004$ ) от плотности



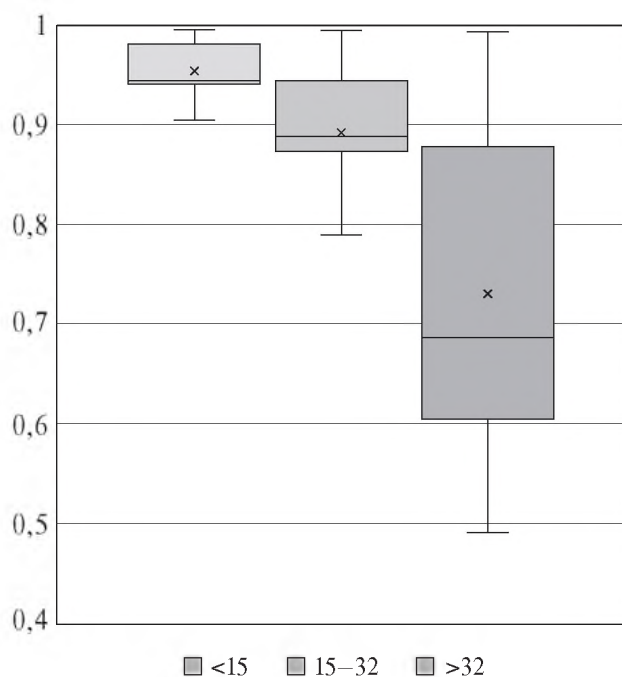
Рис. 3. Плотность наружной лодыжки поврежденного (а) и интактного (б) голеностопных суставов пациента с переломом наружной лодыжки и заднего края дистального эпифиза левой большеберцовой кости на 17-е сутки с момента травмы

Fig. 3. Local bone density of injured (a) and intact (b) lateral ankles in a patient with lateral ankle and posterior tibial margin fracture, 17 days after injury



Рис. 4. Плотность костной ткани отломка наружной лодыжки групп пациентов с повреждениями голеностопного сустава в сроки до 15 сут (1-й столбец), от 15 до 32 сут (2-й столбец) и более 32 сут (3-й столбец) с момента травмы

Fig. 4. Bone density of distal malleolar fragment of patients with ankle fracture: less than 15 days (1<sup>st</sup> column), from 15 to 32 days (2<sup>nd</sup> column) and more than 32 days (3<sup>rd</sup> column) after injury



костной ткани интактной конечности в сроки более 32 сут с момента травмы (см. рис. 1, 4).

Признаки консолидации появлялись в среднем на 28-е сутки с момента травмы при диастазе между отломками менее 1 мм (рис. 5, 6).

### Обсуждение

Изменения, наблюдаемые у пациентов с переломами лодыжек в сроки более 14 сут с момента травмы, можно интерпретировать как прогрессирующий локальный остеопороз, степень тяжести которого значительно зависит от сроков с момента травмы и положения отломков. Несмотря на отсутствие сильной корреляции между возрастом и относительными значениями костной плотности, у больных пожилого возраста наблюдалось более значительное снижение плотности костной ткани

в области наружной лодыжки в абсолютных значениях, которое нередко составляло 50% и менее в сравнении с референтными значениями. Однако

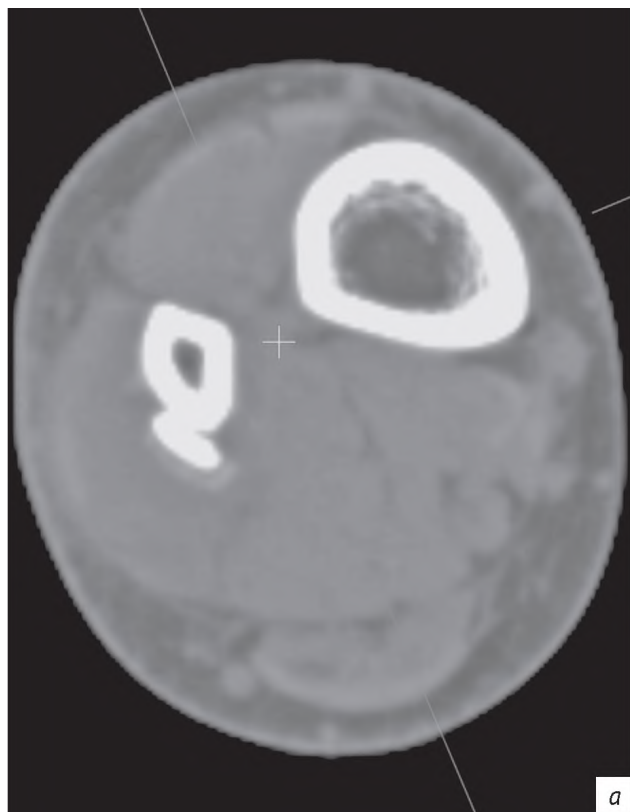


Рис. 5. Томограммы пациента с признаками консолидации надсиндесмозного перелома дистальной трети диафиза малоберцовой кости в аксиальной (a) и сагиттальной (b) плоскостях в режиме Soft Tissue. Срок с момента травмы – 31 сут

Fig. 5. CT-scans of a patient with bony healing signs of distal fibula fracture in axial (a) and sagittal (b) planes (Soft Tissue mode), 31 days after injury

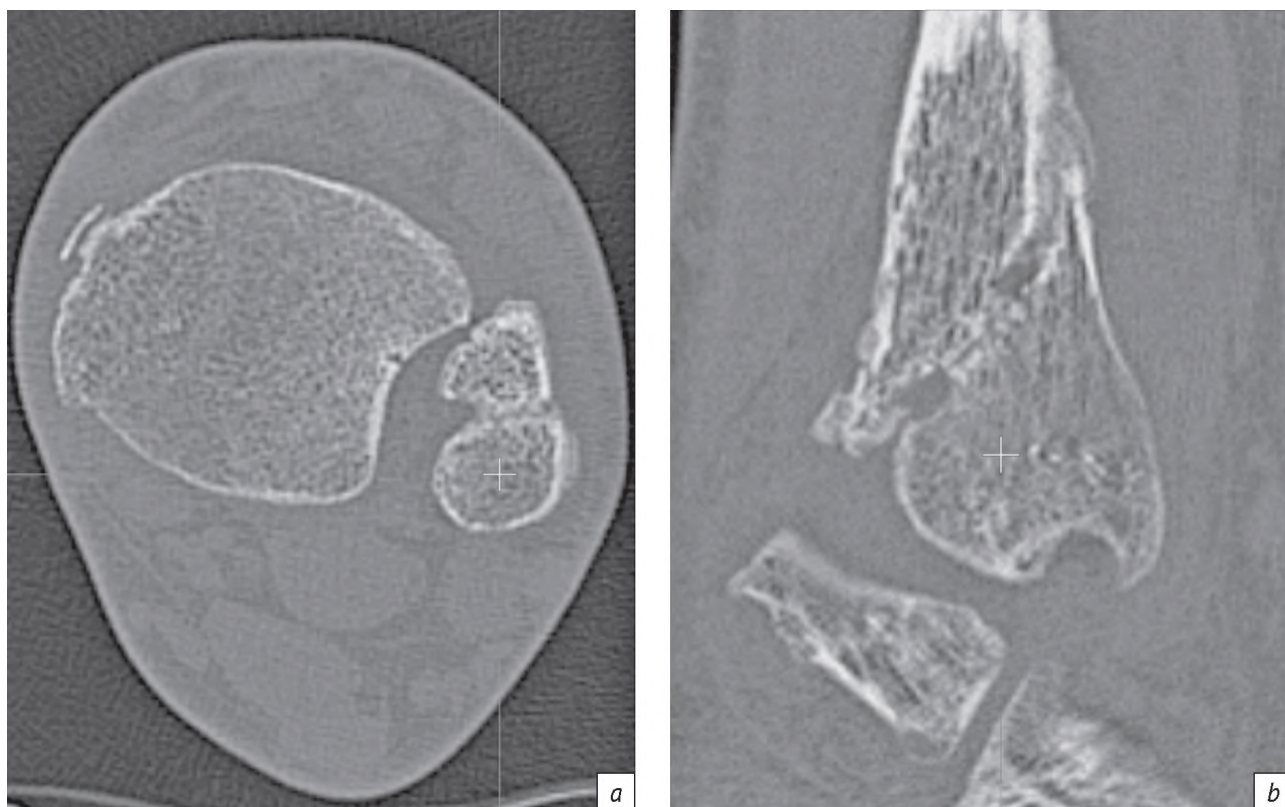


Рис. 6. Томограммы пациента с неправильно консолидированным чрессиндесмозным переломом наружной лодыжки в аксиальной (а) и сагиттальной (b) плоскостях в режиме Bone. Срок с момента травмы – 63 сут

Fig. 6. CT-scans of a patient with malunited lateral malleolus fracture in axial (a) and sagittal (b) planes (Bone mode), 63 days after injury

отношение плотности поврежденной и интактной наружных лодыжек оставалось в пределах значений, средних по группе.

При чрессиндесмозных переломах наружной лодыжки локальный остеопороз дистального отломка более выражен в сравнении с надсиндесмозными переломами.

У пациентов с неправильно консолидирующимися/консолидированными надсиндесмозными переломами наружной лодыжки, способных самостоятельно передвигаться при помощи средств опоры, локальный остеопороз был менее выражен или не наблюдался вообще. Возраст больного и опороспособность поврежденной конечности оказывают влияние на плотность костной ткани, однако меньшее, чем корректность положения отломков после первичной репозиции и иммобилизации и сроки с момента травмы.

Таким образом, при несвежих и застарелых повреждениях голеностопного сустава наблюдается локальный остеопороз, развивающийся, по всей видимости, вследствие резорбции концов костных отломков при отсутствии контакта последних, вторичного остеопороза при отсутствии нагрузки на поврежденную конечность,

а также прогрессирования изначально имеющегося остеопороза у пациентов старшей возрастной категории. Критическими точками изменения особенностей, наблюдаемых на КТ голеностопного сустава при несвежих и застарелых его повреждениях, являются 14-е и 32-е сутки.

## Выводы

В сроки до 14 сут с момента травмы переломы лодыжек не имеют клинически значимых особенностей, влияющих на тактику лечения.

В сроки от 14 до 32 сут с момента травмы происходит прогрессирующее снижение плотности парафрактурной костной ткани, оказывающее влияние на стабильность остеосинтеза.

В сроки более 32 сут наблюдаются прогрессирование локального остеопороза и начало процесса консолидации, затрудняющее прямую анатомичную репозицию отломков.

Признаки консолидации появляются в срок 28 сут с момента травмы при величине межотломкового диастаза менее 1 мм в области задних кортикальных пластинок малоберцовой кости и наружной лодыжки.

## Заключение

С точки зрения предоперационного планирования факторами, негативно влияющими на плотность костной ткани в зоне перелома, являются: 1) сроки с момента травмы; 2) степень смещения отломков; 3) чрессиндесмозный перелом наружной лодыжки. Наиболее точно вышеперечисленные факторы могут быть оценены при КТ голеностоп-

ного сустава в режиме Bone. КТ поврежденного голеностопного сустава как элемент предоперационного планирования остеосинтеза переломов лодыжек в сроки более 14 сут с момента травмы помимо положения отломков позволяет оценить степень остеопороза концов отломков, степень консолидации, объем вмешательства, ожидаемую степень жесткости фиксации и контакта на стыке фрагментов.

## Литература [References]

- Hasselman CT, Vogt MT, Stone KL, et al. Foot and ankle fractures in elderly white women. Incidence and risk factors. *J Bone Joint Surg Am*. 2003; 85(5): 820–4. <http://doi.org/10.2106/00004623-200305000-00008>.
- Stein EM, Liu XS, Nickolas TL, et al. Abnormal microarchitecture and stiffness in post-menopausal women with ankle fractures. *J Clin Endocrinol Metab*. 2011; 96(7): 2041–8. <http://doi.org/10.1210/jc.2011-0309>.
- Lee KM, Chung CY, Kwon SS, et al. Ankle fractures have features of an osteoporotic fracture. *Osteoporos Int*. 2013; 24(11): 2819–25. <http://doi.org/10.1007/s00198-013-2394-6>.
- Ingle BM, Eastell R. Site-specific bone measurements in patients with ankle fracture. *Osteoporos Int*. 2002; 13(4): 342–7. <http://doi.org/10.1007/s001980200036>.
- Lee DO, Kim JH, Yoo BC, Yoo JH. Is osteoporosis a risk factor for ankle fracture? Comparison of bone mineral density between ankle fracture and control groups. *Osteoporos Sarcopenia*. 2017; 3(4): 192–4. <http://doi.org/10.1016/j.afos.2017.11.005>.
- Balasubramanian A, Zhang J, Chen L, et al. Risk of subsequent fracture after prior fracture among older women. *Osteoporos Int*. 2019; 30(1): 79–92. <http://doi.org/10.1007/s00198-018-4732-1>.
- Ettinger B, Ray GT, Pressman AR, Gluck O. Limb fractures in elderly men as indicators of subsequent fracture risk. *Arch Intern Med*. 2003; 163(22): 2741–7. <http://doi.org/10.1001/archinte>.
- Center JR, Bliuc D, Nguyen TV, Eisman JA. Risk of subsequent fracture after low-trauma fracture in men and women. *JAMA*. 2007; 297(4): 387–94. <http://doi.org/10.1001/jama.297.4.387>.
- Morin SN, Lix LM, Leslie WD. The importance of previous fracture site on osteoporosis diagnosis and incident fractures in women. *J Bone Miner Res*. 2014; 29(7): 1675–80. <http://doi.org/10.1002/jbmr.2204>.
- Gehlbach S, Saag KG, Adachi JD, et al. Previous fractures at multiple sites increase the risk for subsequent fractures: the global longitudinal study of osteoporosis in women. *J Bone Miner Res*. 2012; 27(3): 645–53. <http://doi.org/10.1002/jbmr.1476>.
- Pritchard JM, Giangregorio LM, Ioannidis G, et al. Ankle fractures do not predict osteoporotic fractures in women with or without diabetes. *Osteoporos Int*. 2012; 23(3): 957–62. <http://doi.org/10.1007/s00198-011-1648-4>.
- Therdyothin A, Phipphothasane N, Wajanavisit W, et al. Is ankle fracture related to low bone mineral density and subsequent fracture? A systematic review. *Osteoporos Sarcopenia*. 2020; 6(3): 151–9. <http://doi.org/10.1016/j.afos.2020.08.003>.
- Biver E, Durosier C, Chevalley T, et al. Prior ankle fractures in postmenopausal women are associated with low areal bone mineral density and bone microstructure alterations. *Osteoporos Int*. 2015; 26(8): 2147–55. <http://doi.org/10.1007/s00198-015-3119-9>.
- Stein EM, Liu XS, Nickolas TL, et al. Abnormal microarchitecture and stiffness in postmenopausal women with ankle fractures. *J Clin Endocrinol Metab*. 2011; 96(7): 2041–8. <http://doi.org/10.1210/jc.2011-0309>.
- Schuit SC, van der Klift M, Weel AE, et al. Fracture incidence and association with bone mineral density in elderly men and women: the Rotterdam Study. *Bone*. 2004; 34(1): 195–202. <http://doi.org/10.1016/j.bone.2003.10.001>.
- Greenfield DM, Eastell R. Risk factors for ankle fracture. *Osteoporos Int*. 2001; 12(2): 97–103. <http://doi.org/10.1007/s001980170140>.
- Seeley DG, Kelsey J, Jergas M, Nevitt MC. Predictors of ankle and foot fractures in older women. The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *J Bone Miner Res*. 1996; 11(9): 1347–55. <http://doi.org/10.1002/jbmr.5650110920>.
- Sornay-Rendu E, Boutroy S, Munoz F, Delmas PD. Alterations of cortical and trabecular architecture are associated with fractures in postmenopausal women, partially independent of decreased BMD measured by DXA: the OFELY study. *J Bone Miner Res*. 2007; 22(3): 425–33. <http://doi.org/10.1359/jbmr.061206>.
- Sornay-Rendu E, Boutroy S, Duboeuf F, Chapurlat RD. Bone microarchitecture assessed by HR-pQCT as predictor of fracture risk in postmenopausal women: the OFELY Study. *J Bone Miner Res*. 2017; 32(6): 1243–51. <http://doi.org/10.1002/jbmr.3105>.
- Hollensteiner M, Sandriesser S, Bliven E, et al. Biomechanics of osteoporotic fracture fixation. *Curr Osteoporos Rep*. 2019; 17(6): 363–74. <http://doi.org/10.1007/s11914-019-00535-9>.
- Hsu RY, Ramirez JM, Blankenhorn BD. Surgical considerations for osteoporosis in ankle fracture fixation. *Orthop Clin North Am*. 2019; 50(2): 245–58. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2018.10.007>.
- Kettunen J, Kröger H. Surgical treatment of ankle and foot fractures in the elderly. *Osteoporos Int*. 2005; 16(Suppl 2): S103–6. <http://doi.org/10.1007/s00198-004-1737-8>.
- Holz R, Füchtmeier B, Mayr E. Causes of failed osteosynthesis of ankle fractures. *Unfallchirurg*. 2011; 114(10): 913–20 (in German). <http://doi.org/10.1007/s00113-010-1912-7>.
- Warner SJ, Garner MR, Fabricant PD, Lorich DG. Bone density correlates with clinical outcomes after ankle fracture fixation. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018; 138(12): 1653–7. <http://doi.org/10.1007/s00402-018-3017-7>.
- Dehghan N, McKee MD, Jenkinson RJ, et al. Early weightbearing and range of motion versus non-weightbearing and immobilization after open reduction and internal fixation of unstable ankle fractures: a randomized controlled trial. *J Orthop Trauma*. 2016; 30(7): 345–52. <http://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000572>.



26. Гайдуков В.М. Ложные суставы костей: этиопатогенез, диагностика, лечение. СПб.: Наука; 1998: 105 с.  
[Gaydukov VM. False joints of bones: etiopathogenesis, diagnosis, treatment. Saint Petersburg: Nauka; 1998: 105 pp. (in Russ).]
27. Кавалерский Г.М. Травматология и ортопедия. М.: Академия; 2005: 624 с.  
[Kavalerskiy GM. Traumatology and orthopedics. Moscow: Akademiya; 2005: 624 pp (in Russ).]
28. Lampridis V, Gougoulas N, Sakellariou A. Stability in ankle fractures: diagnosis and treatment. EFORT Open Rev. 2018; 3(5): 294–303. <http://doi.org/10.1302/2058-5241.3.170057>.
29. Череватый Н.И., Соломин Л.Н. Лечение пациентов с последствиями переломов лодыжек (обзор мировой литературы). Acta Biomedica Scientifica. 2019; 4(6): 77–88. <http://doi.org/10.29413/ABS.2019-4.6.12>.  
[Cherevatiy NI, Solomin LN. Treatment of patients with ankle fractures (literature review). Acta Biomedica Scientifica. 2019; 4(6): 77–88 (in Russ). <http://doi.org/10.29413/ABS.2019-4.6.12>.]