

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16172>

# Определение давности диафизарных переломов длинных трубчатых костей на основании метода рентгенографии

Ю.Б. Ли<sup>1, 2</sup>, М.В. Вишнякова<sup>1, 3</sup>, А.В. Максимов<sup>1, 4</sup><sup>1</sup> Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского, Москва, Россия;<sup>2</sup> Приморское краевое бюро судебно-медицинской экспертизы, Владивосток, Россия;<sup>3</sup> Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского, Москва, Россия;<sup>4</sup> Государственный университет просвещения, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Исследование скелетной травмы является одним из основных в работе судебно-медицинского эксперта при проведении экспертизы живых лиц. В условиях неочевидности совершённого преступления против здоровья личности, намеренного сокрытия фигурантами дела обстоятельств и даты травмы, отсроченного обращения за медицинской помощью определение давности переломов представляет определённые трудности. В таких случаях важным источником информации являются результаты рентгенографии повреждённой кости.

**Цель исследования** — выявление рентгенологических особенностей диафизарных переломов длинных трубчатых костей, характерных для определённой стадии консолидации.

**Материалы и методы.** Проведено ретроспективное исследование 192 рентгенограмм (первичных и контрольных, в динамике наблюдения) мужчин и женщин ( $n=56$ ) в возрасте от 20 до 80 лет с переломами длинных трубчатых костей в условиях металлоостеосинтеза и без такового. Последовательно изучена динамика изменения рентгенологической картины переломов на разных стадиях консолидации, описаны основные морфологические признаки, проведён их системный анализ, выполнено сравнение в группах и структурирование.

**Результаты.** Определены чёткие временные периоды консолидации, установлены основные опорные признаки, позволяющие отследить динамику заживления; установлено последовательное изменение морфологии перелома в ходе заживления. Значимой разницы в динамике консолидации по гендерному признаку не обнаружено. Операция (металлоостеосинтез) не играла существенной роли в скорости консолидации.

**Заключение.** Рентгенологическая картина диафизарного перелома длинной трубчатой кости имеет свои морфологические особенности в зависимости от давности повреждения.

**Ключевые слова:** трубчатые кости; диафизарные переломы; давность переломов; сроки консолидации; рентгенологическое исследование; морфологические особенности переломов.

## Как цитировать:

Ли Ю.Б., Вишнякова М.В., Максимов А.В. Определение давности диафизарных переломов длинных трубчатых костей на основании метода рентгенографии // Судебная медицина. 2024. Т. 10, № 4. С. 498–508. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16172>

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16172>

# Determining the age of diaphyseal fractures of long bones based on radiography

Yulia B. Li<sup>1,2</sup>, Marina V. Vishniakova<sup>1,3</sup>, Alexander V. Maximov<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Primorsky Regional Bureau of Forensic Medicine, Vladivostok, Russia;

<sup>3</sup> A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russia;

<sup>4</sup> State University of Education, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** The study of skeletal trauma is one of the key aspects of forensic medical examination in cases involving living individuals. When the circumstances and timing of an injury are unclear due to deliberate concealment by involved parties, delayed medical consultation, or an unreported crime against personal health, determining the age of fractures presents certain challenges. In such cases, radiographic examination of the affected bone serves as an important source of information.

**AIM:** To identify radiographic characteristics of diaphyseal fractures of long bones specific to different stages of consolidation.

**MATERIALS AND METHODS:** A retrospective study was conducted on 192 radiographs (initial and follow-up images taken during the observation period) of male and female patients ( $n=56$ ) aged 20 to 80 years with long bone fractures, both with and without metal osteosynthesis. The study systematically analyzed the progression of radiographic fracture changes at different consolidation stages, described key morphological features, performed comparative group analysis, and structured the findings.

**RESULTS:** Distinct timeframes for fracture consolidation were identified, along with key diagnostic criteria for tracking healing dynamics. A sequential pattern of morphological changes in fractures throughout the healing process was established. No significant differences in consolidation dynamics were found based on gender. Surgical intervention (metal osteosynthesis) did not play a substantial role in the speed of consolidation.

**CONCLUSION:** The radiographic appearance of diaphyseal fractures of long bones exhibits specific morphological features depending on the age of the injury.

**Keywords:** tubular bones; diaphyseal fractures; fracture age estimation; consolidation timeframes; radiographic examination; morphological characteristics of fractures.

## To cite this article:

Li YuB, Vishniakova MV, Maksimov AV. Determining the age of diaphyseal fractures of long bones based on radiography. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2024;10(4):498–508. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16172>

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16172>

# 基于X线摄影法确定长管状骨干骨折的时间

Yulia B. Li<sup>1,2</sup>, Marina V. Vishniakova<sup>1,3</sup>, Alexander V. Maximov<sup>1,4</sup><sup>1</sup> Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia;<sup>2</sup> Primorsky Regional Bureau of Forensic Medicine, Vladivostok, Russia;<sup>3</sup> A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russia;<sup>4</sup> State University of Education, Moscow, Russia

## 摘要

**背景。**骨骼损伤的研究是法医专家在活体鉴定工作中的核心内容之一。在犯罪案件中，肇事者可能隐瞒事件发生的具体情况和时间，或受害者延迟就医的情况下，确定骨折时间可能成为一项挑战。在这种情况下，受损骨骼的X线摄影结果是重要的信息来源。

**研究目的。**通过X线影像分析，确定长管状骨骨干骨折在特定愈合阶段的影像学特征。

**材料与amp;方法。**对192份X线片（包括初次和随访动态观察X线片）进行了回顾性研究。研究对象为20至80岁的男性和女性（n=56），其长管状骨发生骨折，部分进行了金属内固定术。研究依次分析了不同愈合阶段骨折的X线影像变化，描述了主要形态学特征，并对其进行系统分析、组间比较和结构化总结。

**结果。**确定了骨折愈合的明确时间段，识别了跟踪愈合动态的主要影像学特征，描述了骨折愈合过程中的形态学变化。未发现性别对愈合速度的显著影响。手术（如金属内固定术）对愈合速度无显著作用。

**结论。**长管状骨干骨折的X线影像表现具有特定的形态学特征，并随骨折发生时间的不同而变化。

**关键词：**管状骨；骨干骨折；骨折时间；愈合时间；X线检查；骨折形态学特征。

## 引用本文：

Li YuB, Vishniakova MV, Maksimov AV. 基于X线摄影法确定长管状骨干骨折的时间. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2024;10(4):498–508.DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16172>

收到: 25.07.2024

接受: 02.10.2024

发布日期: 18.12.2024

## ОБОСНОВАНИЕ

В связи со значительной долей скелетной травмы в повседневной практике судебно-медицинского эксперта определение давности переломов вносит существенный вклад в установление обстоятельств произошедшего. До настоящего времени основным источником определения сроков заживления переломов являются работы по травматологии и ортопедии, а также рентгенологии [1–7], однако в данных исследованиях больше внимания уделяется зависимости сроков консолидации от выбранной тактики и методов лечения, применения остеотропных и иных препаратов, а определение как таковой давности переломов не является приоритетной задачей [8, 9]. Современные исследования в этой области судебной медицины проводятся в основном с применением технологий, не связанных с рентгенологией, а базирующихся на результатах аутопсии, гистологических, фактографических, ультразвуковых и иных методах [10–12], в связи с чем остаётся нерешённой проблема установления сроков консолидации переломов с позиции рентгенологического метода. В ходе проведения экспертизы живых лиц при отсутствии полноценной медицинской документации рентгенографические результаты зоны интереса представляют порой единственно значимый источник информации для эксперта.

**Цель исследования** — выявление рентгенологических особенностей диафизарных переломов длинных трубчатых костей, характерных для определённой стадии консолидации.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

Проведено наблюдательное одноцентровое ретроспективное выборочное неконтролируемое исследование.

### Критерии соответствия

**Критерии включения:** подэкспертные мужчины и женщины в возрасте от 20 до 80 лет с переломами длинных трубчатых костей в диафизарной зоне.

**Критерии исключения:** рефрактурные и патологические переломы; рентгенограммы низкого качества, сделанные с нарушением укладки.

### Условия проведения

Исследование проводилось на базе КГБУЗ «Приморское краевое бюро судебно-медицинской экспертизы».

### Продолжительность исследования

Продолжительности периода наблюдения — 6 лет (с 2019 по 2024 год).

## Описание вмешательства

Исследованы архивные материалы, экспертизы потерпевших, обвиняемых и других лиц, проживающих на территории Приморского края, получивших травмы в бытовых и производственных условиях в результате противоправных и иных действий.

Последовательно изучались данные материалов уголовных дел и предварительных проверок, медицинских документов, а также первичные и контрольные рентгенограммы с аналоговых и цифровых рентгеновских аппаратов, рентгеновских плёнок и цифровых носителей в формате JPEG и DICOM-файлов.

## Методы регистрации исходов

Рентгенограммы с аналоговых рентгеновских аппаратов изучали на негатоскопе однокадровом «Армед» (Россия) и в проходящем дневном естественном свете невооружённым глазом и при девятикратном увеличении. Цифровые рентгенологические изображения исследовали на персональном компьютере с операционной системой Windows 10 процессором Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU 3.30 GHz, дополнительно для DICOM-файлов применялась программа RadiAnt.

## Основной исход исследования

Выделены и изучены основные морфологические признаки заживления переломов (изменения магистральной линии перелома, характера краёв перелома и концов отломков; наличие или отсутствие костной мозоли; изменение рентгеноконтрастности костной мозоли, сравнительных характеристик по отношению к плотности губчатого и компактного вещества кости; равномерность костной мозоли, чёткость или размытость её границ; наличие или отсутствие признаков перестройки костной мозоли) с последующим обобщением и совокупным анализом полученных данных.

## Этическая экспертиза

Исследование одобрено независимым комитетом по этике при ГБУЗ Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского» (протокол № 15 от 07.10.2021 г.).

## Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Фиксировалась частота повторяемости величин с одинаковым значением диагностического признака. Полученные значения выражали в процентах к общему числу статистической совокупности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Объекты (участники) исследования

Изучены архивные материалы 56 подэкспертных (мужчин и женщин) с диафизарными переломами длинных трубчатых костей. Формирование 5 групп пациентов происходило с учётом пола, возраста, локализации и характера диафизарных переломов, наличия или отсутствия в анамнезе оперативного вмешательства по поводу изучаемых переломов. При исследовании рентгенограмм выделяли следующие периоды: переломы до 7 суток, переломы давностью от 7 до 20 суток, от 21 до 30 суток, 31–60 суток (1–2 месяца), 61–90 суток (2–3 месяца), 91–120 суток (3–4 месяца), 121–180 суток (4–6 месяцев), 181–270 суток (6–9 месяцев), 271–365 суток (9–12 месяцев), более года.

### Основные результаты исследования

При диафизарных переломах выявлена следующая динамика рентгенологической картины:

1) до 7 суток: чёткая линия перелома, ясно прослеживающаяся на всём протяжении; чётко определяемые края переломов, концы отломков остроугольные, у 31% мужчин и 33% женщин определяются мелкие зубчики по краям перелома (табл. 1);

2) в период от 7 до 20 суток практически идентичная картина, однако имевшиеся ранее зубчики по краям перелома нивелируются, признаки костной мозоли отсутствуют (см. табл. 1);

3) 21–30 суток: магистральная трещина чётко прослеживается на всём протяжении; края перелома постепенно сглаживаются, концы отломков закругляются; костная мозоль не определяется, лишь в единичных случаях (у 17% мужчин) — слабовыраженная нежная облаковидная костная мозоль, плотностью ниже плотности губчатой части кости (табл. 2);

4) 31–60 суток (1–2 месяца): магистральная трещина чётко прослеживается на всём протяжении, в единичных случаях ясно просматривается лишь на 2/3, на остальном

протяжении — нечётко (у 22% женщин); края перелома постепенно сглаживаются, концы отломков закругляются; костная мозоль отсутствует у 43% мужчин и 67% женщин; слабовыраженная, нежная, облаковидная костная мозоль без чётких границ, ниже плотности губчатого слоя кости зафиксирована у 29% мужчин и 11% женщин, в дальнейшем костная мозоль постепенно уплотняется, по интенсивности соответствует губчатой части кости (14% мужчин, 22% женщин); у 14% мужчин костная мозоль неравномерной плотности: выше плотности губчатого слоя кости, но ниже плотности компакты, границы костной мозоли остаются всё ещё нечёткими и неровными (см. табл. 2);

5) 61–90 суток (2–3 месяца): линия перелома хорошо видна на всём протяжении у 92% мужчин и 80% женщин, в некоторых случаях — лишь на 1/2 (8% мужчин) и 2/3 своей протяжённости (20% женщин); края перелома сглаженные, концы отломков закруглённые; костная мозоль не визуализируется у 75% мужчин и 60% женщин; нежная, облаковидная костная мозоль определяется у 4% женщин; костная мозоль, по интенсивности равная губчатому веществу кости, с неровными, нечёткими границами у 17% мужчин, с чёткими, ровными границами — у 20% женщин; костная мозоль неравномерной плотности, которая больше губчатого слоя кости, но меньше её кортикального слоя, наблюдалась у 8% мужчин, при этом границы костной мозоли были чёткими, ровными (табл. 3, 4);

6) 91–120 суток (3–4 месяца): линия перелома постепенно теряет свою чёткость и ясность, у 67% мужчин и 33% женщин прослеживается на всём протяжении, у 17% мужчин видна на 2/3, у 17% мужчин — на 1/2 всей протяжённости; края перелома остаются сглаженными, концы отломков закруглённые; костная мозоль уплотняется: у 33% мужчин она равна плотности губчатого вещества, имеет чёткие, ровные границы, у 67% мужчин интенсивность костной мозоли соответствует плотности кортикального слоя, при этом у 17% она не имеет чётких границ, а у 50% мужчин и 33% женщин — с чёткими, ровными границами (см. табл. 3 и 4; рис. 1);

Таблица 1. Диафизарные переломы давностью до 20 суток, муж./жен.

Table 1. Diaphyseal fractures, up to 20 days old (man/woman)

Показатель	Период, сут		
	до 7	от 7 до 20	
Линия перелома	чёткая	35/21	35/21
	зубчики по краям	11/7	0/0
	нечёткая	0/0	0/0
Края перелома	чёткие	35/21	35/21
	сглаженные	0/0	0/0
Концы отломков	острые	35/21	35/21
	закруглённые	0/0	0/0
Костная мозоль	имеется	0/0	0/0
	отсутствует	35/21	35/21

Таблица 2. Диафизарные переломы давностью до 2 месяцев, муж./жен.

Table 2. Diaphyseal fractures, 21 to 60 days old (man/woman)

Показатель	Период, сут		
	21–30	31–60	
Линия перелома	чёткая	35/21	35/16
	нечёткая	-/-	-/-
Костная мозоль	отсутствует	29/21	15/14
	меньше губчатого вещества	6/-	10/2
	равна губчатому веществу	-/-	5/5
Края перелома сглаженные	больше губчатого вещества, но меньше кортикального слоя	-/-	5/-
	сглаженные	35/21	35/21
Концы отломков закруглённые	35/21	35/21	

Таблица 3. Диафизарные переломы давностью от 2 месяцев до года и более, муж./жен.

Table 3. Diaphyseal fractures, aged from 61 to 180 days (2–6 months) and from 181 to 365 days (6–12 months) and more than a year (man/woman)

Показатель	Период, сут (мес)						
	61–90 (2–3)	91–120 (3–4)	121–180 (4–6)	181–270 (6–9)	270–365 (9–12)	Более года	
чёткая	32/17	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	
Линия перелома	на всём протяжении	-/-	23/7	8/-	-/-	-/-	
	нечёткая	на 2/3	-/4	6/6	4/4	-/-	-/-
	на 1/2	3/-	6/8	15/17	21/8	6/3	-/-
	<1/2	-/-	-/-	8/-	14/13	29/18	-/-
Края перелома	сглаженные	35/21	35/21	35/21	-/-	-/-	-/-
	видны нечётко	-/-	-/-	-/-	35/21	-/-	-/-
	не видны	-/-	-/-	-/-	-/-	35/21	35/21
Концы отломков	закруглённые	35/21	35/21	35/21	-/-	-/-	-/-
	видны нечётко	-/-	-/-	-/-	35/21	-/-	-/-
	не видны	-/-	-/-	-/-	-/-	35/21	35/21

Таблица 4. Динамика развития костной мозоли при диафизарных переломах давностью до 6 месяцев, муж./жен.

Table 4. Dynamics of callus development in diaphyseal fractures, 61 to 180 days old (2–6 months) (man/woman)

Костная мозоль	Период, сут (мес)		
	61–90 (2–3)	91–120 (3–4)	121–180 (4–6)
Отсутствует	26/13	-/-	-/-
Без чётких границ, меньше губчатого вещества	-/4	-/-	-/-
Без чётких границ, равна губчатому веществу	6/-	-/5	-/-
Чёткие, ровные границы, равна губчатому веществу	-/4	11/-	8/-
Без чётких границ, больше губчатого вещества, но меньше кортикального слоя	-/-	-/3	-/-
Чёткие, ровные границы, больше губчатого вещества, но меньше кортикального слоя	3/-	-/6	8/-
Без чётких границ, равна кортикальному слою	-/-	6/-	18/7
Чёткие границы, равна кортикальному слою	-/-	-/8	19/13



Рис. 1. Перелом диафиза локтевой кости давностью 4 месяца (стрелка): линия перелома просматривается нечётко, костная мозоль неравномерной плотности с чёткими, относительно ровными границами.

Fig. 1. Fracture of the diaphysis of the ulna, 4 months old (arrow): the fracture line is not clearly visible, the callus is of uneven density, with clear, relatively smooth boundaries.

7) 121–180 суток (4–6 месяцев): рентгенологическая картина перелома продолжает изменяться, линия перелома просматривается нечётко на всём протяжении у 23% мужчин: постепенно закрывается и просматривается лишь на 2/3 у 11%, у 43% — на 1/2, у 23% — менее чем на половину всей своей протяжённости; эволюционирует и костная мозоль: у 23% мужчин плотность её соответствует плотности губчатой части кости, у 23% интенсивность костной мозоли выше губчатого слоя кости, но меньше кортикального слоя, у 54% — соответствует плотности кортикального слоя, с чёткими, относительно ровными границами. Костная мозоль всё еще остаётся неравномерной плотности (см. табл. 3, 4);

8) 181–270 суток (6–9 месяцев): магистральная трещина постепенно закрывается, у 60% мужчин она просматривается на 1/2, у 40% — менее чем на 1/2 своей протяжённости, у женщин — соответственно у 40% и 50%; костная

**Таблица 5.** Динамика развития костной мозоли при диафизарных переломах давностью до года и более, муж./жен.**Table 5.** Dynamics of callus development in diaphyseal fractures aged from 181 to 365 days (6–12 months) and more than a year (man/woman)

Костная мозоль	Период, сут (мес)		
	181–270 (6–9)	270–365 (9–12)	Более года
Без чётких границ, равна губчатому веществу	-/-	-/-	-/-
Чёткие, ровные границы, равна губчатому веществу	7/-	-/-	-/-
Без чётких границ, больше губчатого вещества, но меньше кортикального слоя	-/-	-/-	-/-
Чёткие, ровные границы, больше губчатого вещества, но меньше кортикального слоя	-/-	-/-	-/-
Без чётких границ, равна кортикальному слою	13/5	7/3	-/-
Чёткие границы, равна кортикальному слою	15/16	20/14	35/21
Признаки перестройки костной ткани	-/-	8/4	35/21



**Рис. 2.** Перелом диафиза бедренной кости давностью 9 месяцев в условиях металлоостеосинтеза (стрелка): линия перелома нечётко просматривается на 1/2–1/3, костная мозоль равномерной интенсивности с чёткими ровными границами.

**Fig. 2.** Fracture of the femoral diaphysis, 9 months old, in the conditions of metal osteosynthesis (arrow): the fracture line is not clearly visible at 1/2–1/3, the callus is of uniform intensity, with clear, even boundaries.

мозоль претерпевает свои изменения, становится более плотной, равномерной интенсивности, с чёткими, ровными границами, у 20% мужчин равна плотности губчатой части кости, у подавляющего большинства (80%) — плотности кортикального слоя, для женщин, соответственно, у 24% костная мозоль равна плотности компакты, с неровными, нечёткими границами, неравномерной интенсивности, у 76% — с чёткими, ровными границами, равномерной плотности, равная компактному слою кости; края переломов и концы отломков чётко не просматриваются (табл. 3, 5);

9) 271–365 суток (9–12 месяца): происходит дальнейшее постепенное закрытие линии перелома: у 17% мужчин магистральная трещина просматривается на 1/2, у 83% — менее чем на 1/2 своей протяжённости, у женщин — соответственно у 14% и 86%; костная мозоль плотная, по интенсивности соответствует кортикальному слою



**Рис. 3.** Перелом диафиза локтевой кости давностью 11,5 месяца (стрелка): линия перелома практически не просматривается, края переломов и концы отломков не визуализируются, костная мозоль с начальными признаками перестройки.

**Fig. 3.** Fracture of the diaphysis of the ulna, 11.5 months old (arrow): the fracture line is practically not visible, the edges of fractures and the ends of fragments are not visualized, the bone callus shows initial signs of restructuring.

кости, равномерной интенсивности, с чёткими границами, у 23% мужчин и 19% женщин с признаками перестройки костной ткани, которые более выражены после 11 месяцев; края переломов и концы отломков не просматриваются (см. табл. 3, 5; рис. 2, 3);

10) переломы давностью более года во всех наблюдениях имеют однотипные характеристики: линия

перелома полностью закрыта, не просматривается, костная мозоль плотная, хорошо выраженная, равномерной интенсивности, с признаками перестройки костной ткани (см. табл. 3, 5; рис. 4).

В исследованных группах у 43% женщин и 34% мужчин была проведена операция по поводу диафизарных переломов: выполнены как накостный остеосинтез пластиной и винтами, так и интрамедуллярный блокируемый. В сроки до 3 месяцев наличие или отсутствие металлоостеосинтеза по поводу данных переломов не играло существенной роли в сроках начала формирования костной мозоли, в дальнейшем также не отмечалось значительной разницы в динамике заживления переломов по сравнению с подэкспертными без металлоостеосинтеза, исключения составляли единичные случаи нестабильного металлоостеосинтеза с мигрирующими винтами, проведённые по поводу оскольчатых-фрагментарных переломов, в том числе с дефектом костной ткани, со значительным смещением отломков. В таких редких случаях костная мозоль рентгенологически не определялась в течение длительного периода времени — вплоть до 6–8 месяцев.



**Рис. 4.** Перелом верхней трети диафиза малоберцовой кости давностью 16 месяцев (стрелка): линия перелома полностью закрылась, костная мозоль плотная, с чёткими признаками перестройки костной ткани.

**Fig. 4.** Fracture of the upper third of the diaphysis of the fibula, 1 year 4 months old (arrow): the fracture line has completely closed, the callus is dense, with clear signs of bone tissue restructuring.

## ОБСУЖДЕНИЕ

### Резюме основного результата исследования

В соответствии с динамикой рентгенологической картины диафизарных переломов выделены 10 основных периодов, для которых характерны определённые рентгенологические признаки. Выявленные с помощью рентгенологического метода основные морфологические особенности переломов позволяют эксперту определиться с их давностью.

### Обсуждение основного результата исследования

Определение давности переломов в условиях определённых ограничений судебно-медицинского эксперта в плане полноценности предоставленных объектов часто вызывает сложности. Возможно, с этим связан некоторый дефицит информации в специализированной судебно-медицинской литературе по этому вопросу [13, 14]. Согласно данным литературных источников по судебной медицине и рентгенологии, основная рентгенологическая картина консолидации сводится к основным трём периодам: начало выпадения солей кальция в область «первичной» костной мозоли, постепенное её уплотнение до формирования полноценной костной мозоли. При этом в данных трудах остаётся за рамками подробная динамика рентгенологической картины перелома, временные периоды заживления которого колеблются от 2 до 6–8 месяцев и более от момента травмы [15–17]. В этой связи проведённое нами исследование выявило достаточно чёткие временные периоды консолидации, представляющие в совокупности непрерывную и последовательную цепь динамически изменяющейся рентгенологической картины перелома. Установлены основные «опорные маркеры», позволяющие отследить динамику заживления: линия перелома или магистральная трещина, характер краёв перелома и концов отломков и непосредственно сама костная мозоль, постепенная метаморфоза которой позволяет более точно сориентировать эксперта в вопросе давности травмы. В нашей работе прослеживается последовательное изменение морфологии перелома в ходе заживления: отмечается постепенное закрытие линии перелома, сглаживание и размытость краёв и концов отломков, поэтапное уплотнение костной мозоли (меняется её рентгеноконтрастность, равномерность затемнения, чёткость краёв вплоть до финальной завершённости картины консолидации). В ходе исследования установлено, что динамика формирования костной мозоли и изменение рентгенологической картины перелома (вид и характер магистральной трещины, краёв перелома, концов отломков) зависят от половой принадлежности подэкспертного, при этом разница в динамике заживления переломов по гендерному признаку наиболее выражена в период от 31–60 до 271–365 суток и колеблется в диапазоне от 12

до 34%; заживление переломов у мужчин происходит быстрее, чем у женщин. Переломы давностью более года не имеют различий по половому признаку, рентгенологическая картина их практически однотипная. Большое значение имеют характер перелома, а также полноценность и стабильность проведённого металлоостеосинтеза: оскольчатые, оскольчато-фрагментарные, переломы с дефектами костной ткани, изначально значительным смещением отломков, нестабильным металлоостеосинтезом консолидируются значительно медленнее. Однако при противоположной картине перелома наличие или отсутствие металлоостеосинтеза не играло существенной роли в скорости консолидации: средние показатели в группах были примерно одинаковыми.

### Ограничения исследования

При планировании и проведении исследования размер выборки для достижения требуемой статистической мощности результатов не рассчитывался. В связи с этим полученная в ходе исследования выборка участников не может считаться в достаточной степени репрезентативной, что не позволяет экстраполировать полученные результаты и их интерпретацию на генеральную совокупность аналогичных пациентов за пределами исследования.

К трудностям исследования и интерпретации его результатов можно отнести качество рентгенограмм: «мягкие» или, наоборот, «жёсткие» рентгеновские снимки; рентгеновские изображения, сделанные с нарушением укладки или установки пациента; наличие инородных теней, затрудняющих исследование (тени лестничных, транспортных, шин), элементов системы скелетного вытяжения, элементов металлоостеосинтеза (пластины, винты, интрамедуллярные стержни и т.п.); динамическая нерезкость; артефакты в виде царапин, пятен, дефектов плёнки и др. Более того, сама визуализация костной мозоли на снимках в определённых проекциях порой ограничена. Данные трудности преодолимы путём проведения повторной рентгенографии зоны интереса.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заживление диафизарного перелома длинной трубчатой кости проходит определённые этапы, при этом последовательно меняется рентгенологическая картина области

перелома. Ключевыми моментами являются изменения основной линии перелома (магистральной трещины) — от чёткой и ясной до её полного закрытия, отсутствие визуализации на рентгенограммах краёв перелома и концов отломков, динамика костной мозоли вплоть до полной рентгенологической картины консолидации перелома. Важным является установить эти признаки, зафиксировать их изменения и дать им правильную оценку.

Проведённое исследование позволяет эксперту более точно определиться в вопросе давности возникновения перелома и, соответственно, внести определённый вклад в прояснение по большей части смутных и противоречивых обстоятельств травмы.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Ю.Б. Ли — сбор данных, написание рукописи; М.В. Вишнякова, А.В. Максимов — научное редактирование рукописи, рассмотрение и одобрение окончательного варианта рукописи.

### ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Yu.B. Lee: data collection, manuscript writing and editing; M.V. Vishnyakova, A.V. Maksimov: scientific editing of the manuscript, review and approval of the final version of the manuscript.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Илясова Е.Б., Чехонацкая М.Л., Приезжев В.Н. Лучевая диагностика. 2-е изд. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. 432 с.
- Линденбратен Л.Д., Королюк И.П. Медицинская радиология (основы лучевой диагностики и лучевой терапии): учебник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Медицина, 2000. 672 с. (Серия: Учебная литература для студентов медицинских вузов). EDN: YMMUAN
- Ключевский В.В., Литвинов И.И. Практическая травматология. Руководство для врачей. Москва: Практическая медицина, 2020. 400 с. EDN: LRGSYK
- Hempe S., Bieler D., Braunegger G., et al. [Extracorporeal shockwave therapy as an alternative treatment in cases of posttraumatic delayed bone union. (In German)] // Unfallchirurgie (Heidelb). 2023. Vol. 126, N 10. P. 779–787. doi: 10.1007/s00113-022-01225-5

5. Russow G., Heyland M., Märdian S., Duda G. Knochenbruchheilung und klinische belastungsstabilität // *OP-Journal*. 2019. Vol. 35, N 01. doi: 10.1055/a-0755-6202
6. Fischer C. [Diagnostics and classification of non-unions. (In German)] // *Unfallchirurg*. 2020. Vol. 123, N 9. P. 671–678. doi: 10.1007/s00113-020-00844-0
7. Grossner T., Schmidmaier G. [Conservative treatment options for non-unions. (In German)] // *Unfallchirurg*. 2020. Vol. 123, N 9. P. 705–710. doi: 10.1007/s00113-020-00851-1
8. Entezari A., Swain M.V., Gooding J.J., et al. A modular design strategy to integrate mechanotransduction concepts in scaffold-based bone tissue engineering // *Acta Biomater*. 2020. Vol. 118. P. 100–112. doi: 10.1016/j.actbio.2020.10.012
9. Gould N.R., Torre O.M., Leser J.M., Stains J.P. The cytoskeleton and connected elements in bone cell mechano-transduction // *Bone*. 2021. Vol. 149. P. 115971. doi: 10.1016/j.bone.2021.115971
10. Белоконов В.И., Пушкин С.Ю., Ардашкин А.П., и др. Динамика морфологических изменений в зоне переломов у пострадавших с травмой груди и реберным клапаном // *Наука и инновации в медицине*. 2018. № 4. С. 6–12. EDN: POCNJV
11. Завадовская В.Д., Попов В.П., Акбашев О.Е., и др. Ультразвуковое мониторирование процессов консолидации переломов длинных трубчатых костей при остеосинтезе с использованием биоактивных имплантатов // *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2014. № 5. С. 40–48. EDN: TBCPJX doi: 10.20862/0042-4676-2014-0-5-40-48
12. Киреева Е.А. Судебно-медицинское определение давности переломов ребер: Автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.24. Место защиты: Российский центр судебно-медицинской экспертизы. Москва, 2008. 21 с.
13. Ли Ю.Б., Вишнякова М.В., Клевно В.А. Судебно-медицинское значение данных рентгенографии в определении давности диафизарных переломов: случай из экспертной практики // *Судебная медицина*. 2022. Т. 8, № 2. С. 65–71. EDN: GCWJGS doi: 10.17816/fm711
14. Ли Ю.Б., Вишнякова М.В., Максимов А.В. Судебно-медицинское определение давности переломов на основании данных рентгенологических методов исследования: научный обзор // *Судебная медицина*. 2024. Т. 10, № 2. С. 229–240. EDN: ACRUSV doi: 10.17816/fm16085
15. Райзер М., Баур-Мельник А., Гласер К. Лучевая диагностика. Костно-мышечная система: практическое руководство / под ред. Н.Б. Петровой; пер. с англ. В.А. Климова. Москва: МЕДпресс-информ, 2011. 384 с.
16. Рейнберг С.А. Рентгенодиагностика заболеваний костей и суставов. В 2 кн. Изд. 4-е, испр. и доп. Москва: Медицина, 1964.
17. Романов П.Г., Девятериков А.А., Штемпельюк Я.Р. Проблемы судебно-медицинской оценки переломов костей носа // *Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы: сборник статей / под ред. А.И. Авдеева, И.В. Власюка*. Т. 21. Хабаровск: Дальневосточный государственный медицинский университет, 2022. С. 103–105. EDN: COZRPM

## REFERENCES

1. Ilyasova EB, Chekhonatskaya ML, Priezhev VN. *Radiation diagnostics*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: GEOTAR-Media; 2021. 432 p. (In Russ.)
2. Lindenbraten LD, Korolyuk IP. *Medical radiology (basics of radiation diagnostics and radiation therapy): textbook*. 2<sup>nd</sup> ed., revised and updated. Moscow: Meditsina; 2000. 670 p. (Series: Textbook for medical students). (In Russ.) EDN: YMMUAH
3. Klyuchevskiy VV, Litvinov II. *Practical traumatology*. Manual for doctors. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2020. 400 p. (In Russ.) EDN: LRGSYK
4. Hempe S, Bieler D, Braunegger G, et al. [Extracorporeal shockwave therapy as an alternative treatment in cases of posttraumatic delayed bone union. (In German)]. *Unfallchirurgie (Heidelb)*. 2023;126(10):779–787. doi: 10.1007/s00113-022-01225-5
5. Russow G, Heyland M, Märdian S, Duda G. Knochenbruchheilung und klinische belastungsstabilität. *OP-Journal*. 2019;35(01). doi: 10.1055/a-0755-6202
6. Fischer C. [Diagnostics and classification of non-unions. (In German)]. *Unfallchirurg*. 2020;123(9):671–678. doi: 10.1007/s00113-020-00844-0
7. Grossner T, Schmidmaier G. [Conservative treatment options for non-unions. (In German)]. *Unfallchirurg*. 2020;123(9):705–710. doi: 10.1007/s00113-020-00851-1
8. Entezari A, Swain MV, Gooding JJ, et al. A modular design strategy to integrate mechanotransduction concepts in scaffold-based bone tissue engineering. *Acta Biomater*. 2020;118:100–112. doi: 10.1016/j.actbio.2020.10.012
9. Gould NR, Torre OM, Leser JM, Stains JP. The cytoskeleton and connected elements in bone cell mechano-transduction. *Bone*. 2021;149:115971. doi: 10.1016/j.bone.2021.115971
10. Belokonev VI, Pushkin SYu, Ardashkin AP, et al. Dynamics of morphological changes in fracture sites in victims with thoracic trauma and flail chest. *Science and innovations in medicine*. 2018;(4):6–12. EDN: POCNJV
11. Zavadovskaya VD, Popov VP, Akbasheva OE, et al. Ultrasound monitoring of consolidation processes in fractures of long tubular bones in osteosynthesis using bioactive implants. *J Radiology Nuclear Medicine*. 2014;(5):40–48. EDN: TBCPJX doi: 10.20862/0042-4676-2014-0-5-40-48
12. Kireeva EA. *Forensic-medical determination of the age of rib fractures* [dissertation abstract]: 14.00.24. Place of defence: Russian Centre of Forensic Medical Examination. Moscow; 2008. 21 p. (In Russ.)
13. Li YuB, Vishniakova MV, Klevno VA. Forensic significance of X-ray data in the definition prescription of diaphyseal fractures: A case from expert practice. *Russ J Forensic Medicine*. 2022;8(2):65–71. EDN: GCWJGS doi: 10.17816/fm711
14. Li YuB, Vishniakova MV, Maksimov AV. Forensic medical determination of the age of fractures based on X-ray research methods: A literature review. *Russ J Forensic Medicine*. 2024;10(2):229–240. EDN: ACRUSV doi: 10.17816/fm16085
15. Reiser M, Baur-Melnik A, Glaser K. Direct diagnosis in Radiology. Musculoskeletal imaging. Ed. by N.B. Petrova. Transl. from English by V.A. Klimov. Moscow: MEDpress-Inform; 2011. 384 p. (In Russ.)
16. Reinberg SA. *Radiodiagnosics of diseases of bones and joints*. In 2 books. 4<sup>th</sup>, revised and updated. Moscow: Meditsina; 1964. (In Russ.)
17. Romanov PG, Devyaterikov AA, Shtempelyuk YR. *Problems of forensic medical evaluation of nasal bone fractures*. In: Selected issues of forensic medical expertise: A collection of articles. Ed. by A.I. Avdeev, I.V. Vlasiuk. Vol. 21. Khabarovsk: Far-Eastern State Medical University; 2022. P. 103–105. (In Russ.) EDN: COZRPM

## ОБ АВТОРАХ

**\* Ли Юлия Брониславовна;**

адрес: Россия, 129110, Москва, ул. Щепкина, д. 61/2, корп. 1;  
ORCID: 0000-0001-7870-5746;  
eLibrary SPIN: 2397-7425;  
e-mail: reineerdeluft@gmail.com

**Вишнякова Марина Валентиновна, д-р мед. наук;**

ORCID: 0000-0003-3838-636X;  
eLibrary SPIN: 1137-2991;  
e-mail: cherridra@mail.ru

**Максимов Александр Викторович, д-р мед. наук, профессор;**

ORCID: 0000-0003-1936-4448;  
eLibrary SPIN: 3134-8457;  
e-mail: mcsim2002@mail.ru

## AUTHORS' INFO

**\* Yulia B. Li;**

address: 61/2 bldg 1 Shepkina st, Moscow, Russia, 129110;  
ORCID: 0000-0001-7870-5746;  
eLibrary SPIN: 2397-7425;  
e-mail: reineerdeluft@gmail.com

**Marina V. Vishniakova, MD, Dr. Sci. (Medicine);**

ORCID: 0000-0003-3838-636X;  
eLibrary SPIN: 1137-2991;  
e-mail: cherridra@mail.ru

**Alexander V. Maximov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;**

ORCID: 0000-0003-1936-4448;  
eLibrary SPIN: 3134-8457;  
e-mail: mcsim2002@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author