

## МИКРОМЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ КОСТИ

---

[Свободно редактируемая статья:](http://klevno.ru/wiki/index.php/Микромеханика_разрушения_кости)

[http://klevno.ru/wiki/index.php/Микромеханика\\_разрушения\\_кости](http://klevno.ru/wiki/index.php/Микромеханика_разрушения_кости)

(необходима регистрация)

---

Изучению механизмов и морфологии переломов костей скелета человека посвящено значительное число работ судебных медиков. Исследования В.Н. Крюкова (1969, 1971, 1986) и его учеников привели к формированию и разработке целого научного направления в судебно-медицинской травматологии, связанного с определением механизмов переломов костей. Почти все они касаются процессов разрушения кости на макроуровне ее организационной структуры. Перелом кости рассматривается в них как объект исследования, имеющий края и поверхность излома, морфологическая характеристика которых позволяет определять предшествовавшие виды деформаций, устанавливать условия возникновения травмы, создавая, тем самым, возможность воспроиз

водить отдельные моменты происшествия, что является одной из главных задач судебно-медицинской экспертизы.

Несмотря на широко используемые в экспертной практике методы изучения краев и поверхностей изломов, они не позволяют в полной мере решать вопросы судебно-следственных органов, так как переломы одного и того же вида могут возникать при различных условиях травматизации. Недостаточно для определения условий внешнего воздействия и общепринятых признаков растяжения и сжатия костной ткани, а также выявления зон первоначального разрыва и долома.

В качестве экспертных критериев необходимы новые информативные параметры для диагностики условий травмы и научного обоснования механики разрушения кости как твердого биологического тела.

{vsig}micromex{/vsig}

Исходя из того, что формированию перелома предшествуют микроразрушения, можно предположить, что их «за  
е» следы будут отображать те сложные процессы деформирования, которым подвергалась кость при ее нагружении, а сам перелом следует рассматривать не только как объект, имеющий отломки, края и поверхности изломов, но и как объемное повреждение, имеющее зону пластической деформации с наличием в ней множества микротрещин. Этот теоретический вывод подтверждается одним из положений механики разрушения, которое гласит, «... что сам излом представляет собой объем (слой) наклепанного (в процессе реализации механизмов разрушения) материала, ограниченного, с одной стороны, вновь образовавшейся свободной поверхностью тела (поверхностью излома)» (К. Хеллан, 1988). СТЫВШИ

Отсюда следует, что будет правомерным выделить в самостоятельный раздел судебно-медицинской травматологии

–

микромеханику разрушения кости  
, изучающую ее  
поведение при нагружениях и процессы разрушения костной  
ткани в масштабе элементов ее структуры.

Микромеханику разрушения кости должны занимать прежде всего не вопросы о  
величине приложенной нагрузки, а  
вопросы о том, как, почему, где и когда упругая энергия  
может перейти в энергию разрушения. В результате реали-  
зации процесса разрушения в толще компакты прикраевых участков перелома и на  
поверхности излома формируется своеобразная микрокартина разрушения,  
позволяющая дать  
ответы на многие вопросы судебно-следственных органов.

Знакомству с теоретическими основами микромеханики разрушения костной ткани  
следует предпослать и изложение  
содержания отдельных понятий и терминов, приводимых на-  
ми в этой главе и касающихся процессов разрушения кости.

**МИКРОМЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ КОСТИ** – раздел судебно-медицинской  
травматологии, изучающий поведение кости при ее нагружениях и  
процессы разрушения костной ткани в масштабе элементов ее структуры.

**ДЕФОРМАЦИЯ КОСТИ** – совокупность физических процессов, вызывающих изменение  
формы и (или) размеров отдельно взятой кости или костного  
комплекса в целом:

- упругая деформация, исчезающая после снятия внешнего воздействия; является первым этапом в поведении кости при ее нагружении, который протекает до появления разрушений и характеризуется "размножением" дислокаций;
- пластическая деформация – необратимое изменение формы и (или) размеров кости без возможного завершения разделения ее на части; является вторым этапом в поведении кости, который связан уже с появлением разрушений ее на структурном уровне;
- остаточная деформация – сохраняющаяся после снятия внешнего воздействия; наиболее выражена на костях детского и подросткового возраста, подвергавшихся нагружению до второго этапа поведения кости включительно.

**МЕХАНИЗМ ПЕРЕЛОМА КОСТИ** – взаимодействие внешней нагрузки с костью, сопровождающееся деформацией последней с изменением взаимного расположения костных структур и последующим развитием кинетического процесса, в основе которого лежат механизмы микро- и макроскопического разрушения, приводящие к разделению кости на части:

- микроскопический механизм разрушения кости – совокупность физических процессов, определяющих зарождение, рост и слияние микро трещин, описываемых в масштабе элементов структуры кости; характеризует докритический период разрушения;
- макроскопический механизм разрушения кости – совокупность физических процессов, обеспечивающих появление, развитие и раскрытие магистральной трещины, завершающей формирование перелома кости; характеризует закритический период разрушения.

**ХРУПКО-ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОСТИ** – способность костной ткани разрушаться по хрупко-пластическому типу с преобладанием либо хрупкого, либо вязкого механизмов разрушения:

- хрупкое разрушение – разрушение кости по макроскопическому механизму путем хрупкого отрыва по нормали к растягивающим напряжениям без заметной предшествующей пластической деформации; наиболее выражено при возникновении переломов у лиц пожилого и старческого возраста, а также при динамическом нагружении;

- вязкое разрушение – разрушение кости по микроскопическому механизму со значительными следами пластической деформации в месте разрушения путем зарождения, роста и слияния микротрещин; наиболее выражено при возникновении переломов у детей и лиц молодого возраста, а также при статическом нагружении;

**ТРЕЩИНА** – сквозное, поверхностное или глубинное (изолированное) нарушение сплошности кости с образованием свободных поверхностей, не допускающих их смещения относительно друг друга;

- магистральная трещина – основная трещина, возникающая из слияния ряда малых микротрещин и обуславливающая развитие разрушения и формирование перелома кости;

- вторичная трещина – косая или веерообразная трещины, ответвляющиеся от магистральной трещины по параболической траектории;

- микротрещина – трещина, соизмеримая с элементами микроструктуры кости, например, основной структурной единицей – остеоном; способна к дальнейшему росту и слиянию с себе подобными; является источником формирования магистральной трещины и последующего полного разрушения кости – перелома.

Трещина обладает трехмерностью (длиной, шириной и глубиной) и с позиций механики разрушения имеет сопряженные поверхности, берега (края), фронт и вершину:

- сопряженные поверхности – вновь образованные поверхности разрушения с определенным рельефом;
- берег (край) трещины – участок костной ткани вблизи поверхности трещины;
- фронт трещины – линейная граница в месте смыкания поверхностей, определяемая положением точек ее вершин в каждом последовательном сечении, перпендикулярном плоскости ее продвижения; при продвижении фронта трещины происходит взаимное отдаление берегов трещины;
- вершина трещины – условная точка проходящего через трещину сечения образца или кости, в которой прекращается разделение тела на части.

**ПЕРЕЛОМ** – объемное повреждение кости с нарушением ее целостности и образованием свободных поверхностей, допускающих их смещение относительно друг друга.

Перелом состоит из отломков и включает в себя край перелома, поверхность перелома (излом) и зону пластической деформации (слой микроповреждений):

- край перелома – контур (линия) перелома, имеющий геометрические и морфологические особенности;
- поверхность перелома – с позиций фрактографии следует рассматривать как излом, отображающий начало разрушения (зона первоначального разрушения), распространение перелома и зону долома;

- зона пластической деформации – приграничный с изломом участок кости, ограниченный, с одной стороны, поверхностью излома, а с другой – зоной упругой деформации и характеризующийся наличием в толще компакты микротрещин, выявляемых на шлифах.

Существующая теория удара подчиняется законам упругого деформирования и не может быть применена в полном объеме для объяснения изменений, происходящих в кости, обладающей хрупко-пластическими свойствами. Изучение ударного и статического нагружения кости требует учета как упругих, так и пластических свойств ее. При решении задачи (определении параметров динамического и статического нагружения) и связанных с ней проблем механических свойств кости при ударе и давлении мы опирались на анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований при разрушении грудной клетки во время удара или компрессии ее твердыми тупыми предметами. Поэтому при рассмотрении устойчивости кости (костного комплекса) к различным видам механических нагрузок мы сочли возможным использовать понятия, широко применяемые в технике: нагружение динамическое и нагружение статическое.

**НАГРУЖЕНИЕ КОСТИ** – приложение к кости или костному комплексу изменяющейся нагрузки: динамической или статической:

- **динамическое нагружение** – нагружение кости (комплекса) с большой скоростью, соответствует в судебной медицине, как правило, ударному воздействию;
- **статическое нагружение** – постепенное нагружение кости (комплекса) с малой

скоростью, соответствует в судебной медицине, как правило, медленному изгибу кости или компрессии, например, грудной клетки;

- **удар** – внешнее воздействие (вид динамического нагружения), сопровождающееся совокупностью физических явлений в месте контакта твердого тела предмета и тела с образованием механических повреждений (ссадин, кровоподтеков, переломов и др.) преимущественно по локальному типу;

- **компрессия** – внешнее воздействие (вид статического нагружения), заключающееся в сдавливании тела (или его части) между твердыми тупыми предметами с образованием механических повреждений преимущественно по конструкционному типу.

- **ШЛИФ** – шлифованная и полированная поверхность распила кости в одном из сечений, подготовленная по специальной методике для микроскопического исследования.

- **ДИСЛОКАЦИЯ** – с позиций разрушения это линейный дефект кристаллической решетки, нарушающий правильное чередование атомных плоскостей и образующий внутри кристалла границу зоны сдвига. Простейшие дислокации – краевая, винтовая и смешанная. Деформация кристалла обусловлена движением и интенсивным размножением дислокаций.

- **ЭНЕРГИЯ УПРУГАЯ** – энергия, накопленная в теле за счет упругих деформаций.

- **ЭНЕРГИЯ РАЗРУШЕНИЯ** (работа разрушения) – энергия, необходимая для разрушения кости или костного комплекса.



- **ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ** – способность костной ткани противостоять образованию трещин, характеризуемая величиной вязкости разрушения.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные позволяют дать следующее толкование различным видам изломов костей:

- **ХРУПКИЙ ИЗЛОМ** – поверхность перелома кости (в микрообъеме, слое костной ткани), возникший без заметной предшествующей пластической деформации; преобладает на переломах в пожилом и старческом возрасте; формируется преимущественно при динамическом нагружении, например, при ударе; ф
- **ПЛАСТИЧНЫЙ (ВЯЗКИЙ, ВОЛОКНИСТЫЙ) ИЗЛОМ** – поверхность перелома кости, возникший в противоположность хрупкому излому, при значительной пластической деформации в процессе разрушения; преобладает на переломах в детском и подростковом возрасте; формируется преимущественно при статическом нагружении, например, при компрессии;
- **ХРУПКО-ПЛАСТИЧЕСКИЙ ИЗЛОМ** – поверхность перелома кости, несущий признаки хрупкого и вязкого разрушений; преобладает на переломах в молодом и зрелом возрасте; формируется при промежуточном нагружении, например, при ударно-компрессионном.

### *Литература*

Горяинов О.П. Закономерности микроразрушений диафизов длинных трубчатых костей нижних конечностей в зависимости от вида внешнего воздействия (удар, медленный изгиб) // Автореф. дисс.канд.мед.наук. М., 1993.

Клевно В.А. Комплексная судебно-медицинская оценка множественных переломов грудной клетки при травме твердыми тупыми предметами. Автореф. дисс. док. мед. наук. – Санкт - Пб. - 1991. - с. 38.

Клевно В.А. Морфология и механика разрушения ребер. (Судебно-медицинская диагностика механизмов, последовательности и прижизненности переломов). Монография. - Барнаул. - 1994. – 300 с.: ил.

Клевно В.А. Некоторые закономерности разрушения ребер. Ж. Судебно-медицинская. 1991. – 1 .- 3 - 8.

Клевно В.А., Горяинов О.П., Хачатрян А.С., Филиппов М.П., Эрлих Э.Р. Способ определения повреждения костей при механической травме в судебной медицине. // Патент А.С. № 1796151 СССР. Приоритет изобретения 26.05.1989 г.

Клевно В.А., Крюков В.Н., Саркисян Б.А., Хохлов В.В., Янковский В.Э. Механизмы и морфология повреждений грудной клетки и пояса верхней конечности. Диагностикум механизмов и морфологии переломов при тупой травме скелета. - Новосибирск.-1999. 173. с. ил.

Клевно В.А., Янковский В.Э. Определение вида внешнего воздействия по переломам ребер. Ж. Судебно-медицинская экспертиза. М. - 1990. - 1. - С. 7 - 10.

Клевно В.А., Янковский В.Э. Судебно-медицинское определение места внешнего воздействия по микроповреждениям кости. Ж. Судебно-медицинская. 1991. - 2. - С. 21 - 23.

Янковский В.Э. , Клевно В.А., Горяинов О.П.// Журнал Суд.-мед. эксперт. – 1992. – № 4. – С. 15-18.

Янковский В.Э., Клевно В.А., Шадымов А.Б., Горяинов О.П., Колядо И.Б., Хачатрян А.С., Эрлих Э.Р. Некоторые вопросы микромеханики разрушения костной ткани. // Сб. Актуальные аспекты судебной медицины. - Ижевск, 1992. - С. 78 - 86.

Янковский В.Э., Клевно В.А., Шадымов А.Б., Колядо И.Б., Эрлих Э.Р. Микроразрушения костной ткани // Журнал Ортопедия травматология и протезирование. – М., Медицина. – 1991. - № 10 – С 9 - 12.

*Klevno V.A. Die gerichtsmedizinische von Mikrofissuren der Rippen. 75. Jarestagung der Deutschen Gesellschaft fur Rechtsmedizin. P. 009. s.166. 24-28 September, 1996, Universitet Zurich.*

*Klevno V.A. Elektronenmikroskopische Untersuchung an experementallen Rippenfrakturen. 76. Jarestagung der Deutschen Gesellschaft fur Rechtsmedizin. Jena.- 16-20 September, 1977.- s.202.*

[Светлаков А.В., Селянинов А.А., Сотин А.В., Сычев Ю.В., Подгаец Р.М ,  
Динамико-кинематический анализ в судебно-медицинской экспертизе, Российский  
журнал биомеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет, ISSN 1812-5123, 2004](#)

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU

[Новый взгляд на морфогенез огнестрельных переломов, Gaidash A.A., Denisov A.V., Tyurin M.V., Samokhvalov I.M., Гайдаш А.А., Денисов А.В., Тюрин М.В., Самохвалов И.М. Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2010. № 4-1. С. 81-87.](#)

[Цитокины, способствующие разрушению тканей пародонта, Теблоева Л.М., Дмитриева Л.А., Гуревич К.Г. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2011. Т. 10. № 1. С. 120-122.](#)

[Трибологические причины асептической нестабильности эндопротезов суставов, Пинчук Л.С., Николаев В.И. Трение и износ. 2006. Т. 27. № 5. С. 552-557.](#)

[Особенности разрушений костной ткани при различных способах внешнего воздействия, Бахметьев В.И., Кислов М.А., Степанян Н.А. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2006. Т. 5. № 1. С. 192-195.](#)

[Патофизиологические и терапевтические аспекты поражения костей при множественной мие ломе, Гельцер Б.И., Жилкова Н.Н., Ануфриева Н.Д., Кочеткова Е.А. Клиническая медицина. 2009. № 12. С. 14-19.\]](#)

[Компьютерное моделирование поведения диафизов длинных трубчатых костей и плоских костей свода черепа при высокоскоростном ударе металлическим осколком, Николай Николаевич Белов, Николай Тихонович Югов, Светлана Ахмед-Рызовна Афанасьева, Анатолий Леонидович Стуканов, Алексей Александрович Югов Механика композиционных материалов и конструкций. 2011. Т. 17. № 2. С. 220-234.](#)

[Специфика повреждений диафизов длинных трубчатых костей под воздействием острого индентора при чистом и косом изгибе, Леонова Е.Н. Дальневосточный медицинский журнал. 2009. № 1. С. 76-78.](#)

[Особенности повреждений диафизов длинных трубчатых костей под воздействием рубящего орудия при сложном напряженно-деформированном состоянии, Леонов С.В., Леонова Е.Н. Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2009. Т. 39-40. № 4-5. С. 109-111.](#)

[Компьютерное моделирование поведения диафизов длинных трубчатых костей и плоских костей свода черепа при высокоскоростном ударе металлическим осколком, Николай Николаевич Белов, Николай Тихонович Югов, Светлана Ахмед-Рызовна Афанасьева, Анатолий Леонидович Стуканов, Алексей Александрович Югов Механика композиционных материалов и конструкций. 2011. Т. 17. № 2. С. 220-234 .](#)

[Динамико-кинематический анализ в судебно-медицинской экспертизе, Светлаков А.В., Селянинов А.А., Сотин А.В., Сычев Ю.В., Подгаец Р.М. Российский журнал биомеханики. 2004. Т. 8. № 1. С. 21-38.](#)

[Моделирование травмы нижней челюсти, Соловьев М.М., Хацкевич Г.А., Демидова И.И. Российский журнал биомеханики. 1999. Т. 3. № 2. С. 109-109.](#)