МИКРОМЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ КОСТИ

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 перело мов костей. Почти все они касаются процессов разрушения кости на макроуровне ее организационной структуры. Пе релом кости рассматривается в них как объект исследова ния, 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 од ной 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-следст венных органов, так как переломы одного и того же вида могут возникать при различных условиях травматизации. Недостаточно для определения условий внешнего воздейст вия и общепринятых признаков растяжения и сжатия кос тной ткани, а также выявления зон первоначального раз рыва 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 стывш ие» следы будут отображать те сложные процессы де формирования, которым подвергалась кость при ее нагру жении, 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 поло жений механики разрушения, которое гласит, «... что сам излом представляет собой объем (слой) наклепанного (в процессе реализации механизмов разрушения) материала, ограниченного, с одной стороны, вновь образовавшейся сво бодной поверхностью тела (поверхностью излома)» (К. Хел лан, 1988).

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 раз
рушений 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 включитель
но.

МЕХАНИЗМ ПЕРЕЛОМА КОСТИ – взаимодействие внешней нагрузки с костью, сопровождающееся деформацией последней с изменением взаимного расположения костных структур и последующим развитием кинетическо
го процесса, в основе которого лежат механизмы микро- и макроскопиче

ского 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 выра жено 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 раз рушения 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 до пускающих их смещения относительно друг друга;

• магистральная трещина – основная трещина, возникающая из слияния ряда малых микротрещин и обусловливающая 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 фор мирования магистральной трещины и последующего полного разрушения кости – перелома.

Трещина обладает трехмерностью (длиной, шириной и глубиной) и с позиций механики разрушения имеет сопря женные 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 се чении, 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 целости и образованием

свободных поверхностей, допускающих их смещение относи тельно друг друга.

Перелом состоит из отломков и включает в себя край перелома, поверхность перелома (излом) и зону пластиче ской 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 первоначаль ного разрушения), распространение перелома и зону долома;

• зона пластической деформации – приграничный с изломом участок кости, ограниченный, с одной стороны, поверхностью излома, а с дру гой – 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 статиче ского 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 комп рессии ее твердыми тупыми предметами. Поэтому при рас смотрении устойчивости кости (костного комплекса) к раз

личным видам механических нагрузок мы сочли возможным использовать понятия, широко применяемые в технике: на гружение 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 ту пого 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 микроскопическо
го исследования.

• **ДИСЛОКАЦИЯ** – с позиций разрушения это линейный дефект кристаллической решетки, нарушающий правильное чередование атомных плоскостей и образующий внутри кристалла границу зоны сдвига. Простейшие дисло кации – краевая, винтовая и смешанная. Деформация кристалла обуслов
лена 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 де
формации; преобладает на переломах в пожилом и старческом возрасте; формируется преимущественно при динамическом нагружении, например, при ударе;

• **ПЛАСТИЧНЫЙ (ВЯЗКИЙ, ВОЛОКНИСТЫЙ) ИЗЛОМ** – поверхность перелома кости , возникший в противоположность хрупкому излому, при значительной пластической деформации в процессе разрушения; преобладает на перело
мах 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 нагруже нии, 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. 7 6. 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.