

## БИОТРИБОЛОГИЯ

---

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

(необходима регистрация)

---

В начале 60-х годов на базе несколько разобщенных исследований в области трения, износа и смазки сформировалась новая наука — [трибология](#) .

Практическое применение трибологии в технике получило название «триботехника». В последние годы из триботехники выделились новые разделы науки – трибомеханика, трибофизика и трибохимия.

Известно, что в живой природе существуют так называемые естественные биотрибологические системы трения. К открытой биотрибологической системе следует отнести зубы, которые участвуют в трении как твердый материал по твердому, смачиваясь окружающей средой – слюной. К закрытой биотрибологической системе относят суставы, в паре трения которых участвуют конгруэнтные поверхности с мягким покрытием (гиалиновый хрящ) и постоянным смачиванием синовиальной жидкостью, сводящей трение в суставе к минимуму. Вышеизложенное позволяет говорить о существовании еще одного самостоятельного раздела – биотрибологии – науки о трении и процессах, сопровождающих трение в биотрибологических системах.

Трибология не может быть сведена только к задачам механики. По мнению бывшего редактора журнала *Wear* д-ра Г. Соломона: «...трибология – это образ мышления и искусство: интеллектуальный подход к гибкой кооперации специалистов в различных областях науки и техники» (цит. по М. Хебды и А.В. Чичинадзе, 1989).

{vsig}biotribology{/vsig}

Именно такой подход должен быть осуществлен в исследовании биотрибологической системы перелома кости. Перелом является патологическим состоянием для организма. Возникший при этом «искусственный шарнир» следует рассматривать как искусственную биотрибологическую систему, в которой концы костных отломков будут испытывать трение. Например, контактное взаимодействие отломков перелома ребра будет обусловлено дыхательными движениями грудной клетки на всем протяжении посттравматического периода. В динамике будут изменяться морфологические свойства перелома, как в процессе самого трения, так и в результате репаративных процессов костной ткани. Процесс «притирания» отломков постулирует их стремление к прогрессированию конгруэнтности свободных концов с формированием нового качества поверхностей излома. Возникающие при этом изменения в местах контакта могут быть использованы в определении прижизненности и давности образования перелома. Если же контактное взаимодействие отломков было обусловлено повторным механическим воздействием в область грудной клетки, то первичные морфологические свойства перелома также будут претерпевать изменения, но уже другого характера, которые могут быть использованы в определении последовательности образования переломов.

Рис. 6.1.1. Перелом кости как биотрибологическая система: ПО – проксимальный отломок; ДО – дистальный отломок; ПИ – поверхность излома; ОС – окружающая среда. Таким образом, биотрибологическую систему перелома следует рассматривать как два (и более) отломка одного перелома, окруженного мягкими тканями, полость которого заполнена излившейся кровью, лимфой и жиром, существующую в постоянном движении (рис. 6.1.1).

Как следует из рис. 6.1.1, проксимальный и дистальный отломки перелома являются своеобразной парой трения, в которой сопряженные поверхности (поверхности изломов) перемещаются относительно друг друга. При этом, в зависимости от первоначальных морфологических особенностей перелома каждая пара трения будет обладать выраженными индивидуальными свойствами. Прежде всего, это геометрические макро- и микропараметры поверхностей изломов, а также механические и репаративные свойства костной ткани (как материала) в зонах контакта отломков. Участок кости, участвующий в трении, следует считать поверхностью трения, а слой костной ткани в зоне контакта, который подвергается процессам трения, изнашивания, резорбции и регенерации, – поверхностным слоем. «Изнашивание» костной ткани проявляется изменением геометрии краев и поверхности излома вследствие разрушения и отделения поверхностного слоя костной ткани в местах контакта отломков при их взаимном трении.

Процесс контактирования поверхностных неровностей имеет определенную стадийность в трансформации поверхностного слоя. Комплекс явлений, развивающийся в зоне контакта отломков биотрибологической системы, может быть описан как биотрибологический процесс в виде трения, изнашивания, резорбции и регенерации, обеспечивающийся воздействием внешних и внутренних факторов. Внешнее действие представлено тягой дыхательной мускулатуры, а внутреннее – пуском репаративных процессов в ответ на травму. И если воздействие внешнего фактора обуславливает механический компонент взаимодействия отломков, то воздействие внутреннего

фактора обуславливает процесс резорбции-регенерации, который, в свою очередь, стимулируется еще и процессом трения. Дистрофическое «вымывание» участков микронекрозов кости приводит к высокой местной концентрации белково-минеральных комплексов, способствующих активному клеточному остеогенезу. Структурно это проявляется сочетанием интенсивного пазушного рассасывания кости и наличием рядом расположенных грубых новообразованных пластинчатых структур, что мы наблюдали при исследовании консолидирующихся переломов.

Отсутствие теоретических и практических знаний в области биотрибологии переломов затрудняет решение научно-практических задач в травматологии. В этой связи исключительное значение приобретает разработка нового научного направления на стыке травматологии и трибологии – медицинской биотрибоники.

**Медицинская биотрибоника** – это возможное научное направление в судебно-медицинской и клинической травматологии, изучающее контактное взаимодействие отломков перелома при их относительном перемещении, охватывающее вопросы трения, изнашивания, резорбции и регенерации костной ткани в посттравматическом периоде.

Медицинская биотрибоника, как научная дисциплина, должна охватывать экспериментально-теоретические, клинические и патоморфологические исследования физических свойств и структуры концов отломков от момента формирования перелома до его заживления.

Осознанно с явлением трения мы столкнулись при изучении морфологических особенностей переломов ребер в 1984 году. Было замечено, что с удлинением сроков посттравматического периода на поверхности изломов и по краям переломов появлялись «блестящие площадки», некоторая зашлифованность и даже завальцованность краев перелома. В теоретическом обосновании изобретения (А. с. 1275807) указывали, что отломки ребер при сохраняющемся дыхании в посттравматическом периоде контактируют между собой, подвергаясь трению. В последующей заявке на изобретение (А. с. 1648366) был зафиксирован признак ранней диагностики прижизненности образования перелома – трассы как первоначальные динамические следы трения, свидетельствовавшие о закономерном смещении отломков вследствие тяги дыхательной мускулатуры.

Еще раньше с явлением трения мы встретились при изучении морфологии переломов после их повторной травматизации (Д.Т. Бугуев, В.А. Клевно, 1979; В.А. Клевно, В.Н. Крюков, 1982). Повторное воздействие в область грудной клетки твердым тупым предметом сопровождалось не только формированием вторичных переломов, но и вклиниванием отломков первичного перелома друг в друга с дополнительным повреждением зоны первоначального разрыва. Вклинение отломков представляло, по сути своей, трение качения с проскальзыванием, которое происходило в условиях сильного контактного взаимодействия поверхностей изломов с разворачиванием угла между отломками. Но в то время знания трибологии остались невостребованными.

Трибологическая наука выделяет несколько видов трения: кинетическое и статическое, внешнее и внутреннее, сухое, граничное и жидкостное, трение качения, трение скольжения и трение качения с проскальзыванием. В биотрибологической системе сломанной кости трение представляет собой совокупность видов трения в области контакта поверхностей изломов, где будут протекать нестационарные биотрибологические процессы с изменением первоначальных морфологических свойств

перелома.

Разработка теоретических основ медицинской биотрибоники требует введения новых терминов и понятий, толкование которых мы приводим в настоящей главе.

---

**БИОТРИБОЛОГИЯ** – наука о трении и процессах, сопровождающих трение в биотрибологических системах.

**МЕДИЦИНСКАЯ БИОТРИБОНИКА** – научное направление в судебно-медицинской и клинической травматологии о контактном взаимодействии отломков при их относительном перемещении, охватывающее вопросы трения, изнашивания, резорбции и регенерации костной ткани в посттравматическом периоде.

**БИОТРИБОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕЛОМА (БТС)** – два (и более) отломка одного перелома, окруженного мягкими тканями, полость которого заполнена кровью, лимфой и жиром, существующую в постоянном движении.

**БИОТРИБОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС** – комплекс явлений в зоне контакта в виде трения, изнашивания, резорбции и регенерации, вызванный трением и репарацией костной ткани и приводящий к изменению первоначальных морфологических свойств перелома во времени.

На биотрибологический процесс оказывают действие внешние и внутренние факторы. Внешний фактор – представлен тягой дыхательных мышц; а внутренний – репаративными процессами в ответ на травму.

**ПАРА ТРЕНИЯ** – совокупность двух отломков перелома, сопряженные поверхности

которых перемещаются относительно друг друга, например, отломки ребер при дыхании.

**Каждая пара трения обладает ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ, включающими геометрические параметры (макро- и микро-) и свойства материала костной ткани (механические и репаративные).**

**ПОВЕРХНОСТЬ ТРЕНИЯ** – поверхность излома и (или) край перелома, и (или) прикраевой участок отломка, участвующие в трении. Характеризуется макро-микрogeометрическими отклонениями, различными механическими и репаративными свойствами.

**ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ** – слой костной ткани в зоне контакта, подвергающийся процессам трения, «изнашивания», резорбции и регенерации.

**"ИЗНАШИВАНИЕ" КОСТНОЙ ТКАНИ** – изменение геометрии краев и поверхности излома вследствие разрыхления и разрушения поверхностного слоя костной ткани в местах контакта отломков при их взаимном трении.

По характеру относительного движения в трибологии выделяют ТРИ ВИДА ТРЕНИЯ: трение скольжения – трение движения, при котором скорости соприкасающихся тел в точках касания различны по значению и (или) направлению. Такой вид трения присущ биотрибологическим системам (зубы, переломы);

трение качения – трение движения, при котором скорости соприкасающихся тел одинаковы по значению и направлению, по крайней мере в одной точке зоны контакта. В чистом виде в биотрибологических системах отсутствует; с определенной степенью условности можно допустить вращение в суставах;

трение качения с проскальзыванием – трение движения двух соприкасающихся тел при одновременном качении и скольжении в зоне контакта. Имеет место при вклинении отломков первичного перелома друг в друга с разворачиванием угла между ними вследствие повторной травматизации.

**КОНТАКТ ОТЛОМКОВ** – процесс соприкосновения поверхностных неровностей,

имеющий определенную стадийность в трансформации поверхностного слоя (изменении первоначальных морфологических свойств перелома).

### **Контактирование отломков происходит В ТРЕХ ПЛОЩАДЯХ КАСАНИЯ:**

**Фактическая площадь касания** – реальная площадь контактных зон микронеровностей поверхности излома;

**контурная площадь касания** – суммарная площадь зон фактического касания; номинальная площадь касания – вся площадь контактирующей поверхности излома с учетом ее рельефа. В процессе взаимодействия отломков не достигается.

---

**РАЗРЫХЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ** – это результат многократных упругих и пластических деформаций макро- и микронеровностей поверхностей излома

**РАЗРУШЕНИЕ СТРУКТУРЫ** – это заключительный этап пластической деформации, связанный с разрушением поверхностного слоя.

**ЦАРАПАНИЕ** – скольжение мелких частиц костной ткани по поверхности трения, вызывающее подминание и раздвигание в стороны поверхностных слоев в зонах фактического касания с оставлением следов в виде царапин (поверхностных трасс).

**НАТИР** – результат многократных царапаний и пластических деформаций с неоднократным наклепом и заглаживанием микронеровностей или образованием рисок (глубоких трасс) в направлении скольжения, в зонах фактического касания, отличающийся по цвету от прилегающих участков костной ткани. В формировании натира определенную роль играет репаративная регенерация.

**НАКЛЕП (НЕОДНОКРАТНЫЙ)** – это процесс и состояние поверхностных слоев костной ткани, исчерпавших способность пластически деформироваться в местах натира. Вследствие неоднократного наклепа натир подвержен трещинообразованию и отделению от основы.

**ТРЕЩИНЫ НАТИРА** – начало разрушения контактирующих поверхностей пары трения путем растрескивания поверхностных слоев натира.

**ОТСЛОЙКА НАТИРА** – отделение натира от основы путем смещения в сторону от поверхности трения с последующей резорбцией его в результате продолжающихся биотрибологических процессов в зоне контакта.

**ТРАСЫ** – следы динамического взаимного воздействия отломков ребер при сохраняющемся дыхании. С позиций биотрибологического процесса следует различать поверхностные и глубокие трассы:

поверхностные трассы – первичные, нестабильные следы в виде множественных параллельных царапин, возникающие в самом начале процесса трения, свидетельствуют о коротком посттравматическом периоде, исчисляемом десятком секунд, минутами;

глубокие трассы – вторичные, стабильные следы в виде параллельных рисок, возникающие в результате "пропахивания" поверхностей биотрибосопряжения при установившемся трении, свидетельствуют о длительном посттравматическом периоде, исчисляемом часами, сутками.

В условиях сохраняющегося дыхания и активизации репаративных процессов отломки перелома в биотрибологической системе изменяют свои морфологические свойства. Утрачивая первоначальные свойства, они приобретают новые, которые можно выделить в экспертно-диагностические критерии для определения прижизненного образования переломов. К ним относятся трассы, блестящие площадки, зашлифованность края, завальцованность краев, трещины натира, отслаивание натира, притертость губчатого вещества, задир надкостницы, признаки резорбции и регенерации: пористость компакты, резорбционная борозда, «пальцевые» вдавления, пролиферация клеточных элементов, появление провизорной и костной мозоли. Несколько иные виды разрушения контактирующих поверхностей происходят в биотрибосопряжении при вклинивании отломков первичного перелома друг в друга в результате повторной травмы. К ним относят следующие.

**ВЫКРАШИВАНИЕ** – вид дополнительного повреждения в виде дефектов костной ткани на контактирующих поверхностях биотрибосопряжения, в основе которого лежит дробление компакты на очень мелкие осколки с предшествующим образованием микротрещин.

**ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ** – во-первых, это появление микротрещин, ограничивающих единичные малые объемы костной ткани в местах фактического касания отломков при их вклинивании, которые предшествуют выкрашиванию и являются сутью самого процесса выкрашивания; во-вторых, это продольные макротрещины, возникающие от расклинивающего эффекта, предшествуют образованию осколков различной формы.

**СКОЛ** – разрушение поверхностных слоев компакты в зоне контакта отломков путем отрыва и сдвига по плоскостям касательных напряжений с образованием поверхности хрупкого разрушения.

**ОТЩЕП** – отщепление поверхностных слоев компакты в зоне контакта отломков от комбинации отрыва и сдвига с образованием поверхности хрупко-пластического разрушения и ступеньки долома на периферии отщепа. Одной из разновидностей отщепа является черепицеобразное наложение отломков.

**СМЯТИЕ** – местная пластическая деформация в зоне контакта с образованием вмятин и раздвиганием в стороны выступов костных пластинок на поверхности изломов. В процесс пластической деформации могут вовлекаться края отломков с элементами их

разволокнения и «гофрирования» на макроуровне.

**ОТГИБАНИЕ** – вид дополнительного повреждения в виде отгибания компактной пластинки края отломка кнаружи или кнутри при разворачивании отломков перелома во время их вклинения друг в друга. Сам процесс отгибания сопровождается формированием продольных и поперечных трещин. При крайней степени отгибания образуются осколки различной формы.

**ОСКОЛКООБРАЗОВАНИЕ** – результат вклинивания отломков друг в друга с формированием осколков в зонах контакта биотрибосопряжения. Осколки имеют неправильную треугольную, прямоугольную и трапециевидную формы. Один край осколков отвесный (соответствует зоне первоначального разрыва), другой, противоположный – скошен (соответствует зоне долома в результате вторичного воздействия).

**ВНЕДРЕНИЕ** – больше характерно для отломков биотрибосопряжения, входящих в контакт с ударом. Вновь образующиеся костные осколки, равно как и имеющиеся, внедряются в губчатое вещество.

**ВЫРЫВАНИЕ** – возникает при обратном разгибании первичных неполных переломов (типичных и атипичных). Глубинные микроразрушения, возникшие при первичном погружении, увеличиваются при повторном разгибании отломков и способствуют появлению новой пластической поверхности разрушения. Поверхность такого разрушения представлена выступающими, вытянутыми по направлению движения, гребнями и конусами, суживающимися вглубь материала кости.

---

## Литература

Киреева Е.А. Судебно-медицинское определение давности переломов ребер: Автореф. дис. канд. мед. наук. – М., 2008.

Клевно В.А. Изменения в зоне перелома кости в посттравматическом периоде. Ж. Судебно-медицинская. М., 1993 — № 2. - С. 21 - 25.

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. О возможности определения прижизненного образования переломов



ребер. Ж. Судебно-медицинская. - Москва. - 1987. - 1. - С. 20 — 22.

Клевно В.А. Основные закономерности изменения морфологических свойств переломов ребер при сохраняющемся дыхании. Ж. Судебно-медицинская. М., 1994 — № 1. – 14 - 18. Бик

Клевно В.А., Воронков С.Ф. Механизм и последовательность изменений морфологических свойств переломов ребер во времени. Ж. Судебно-медицинская.- М., 1994 — № 2. – 9 - 12. Бик

Клевно В.А., Колядо В.Б. Способ определения прижизненного образования перелома кости. // Патент А.С. № 1648366 СССР. Приоритет изобретения 28.10.1988 г. Бик

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. Бик

Клевно В.А., Янковский В.Э. Перелом кости как биотрибологическая система. Сб. научных трудов Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики. Барнаул – 1991 - С. 74 - 76. Бик

Клевно В.А., Янковский В.Э. Способ определения прижизненного образования перелома. // Патент А.С. № 1275807 СССР. Приоритет изобретения 06.03.1985 г. Бик

Колядо И.Б. Судебно-медицинская диагностика прижизненного происхождения переломов ребер: Автореф. дис. канд. мед. наук. – М., 1991. Бик

Колядо И.Б., Клевно В.А. Прижизненные переломы ребер с позиции трибологии. // Сб. Современные вопросы судебной медицины и экспертной практики. - Ижевск, 1991. - Вып. 5. - С. 102-105. Бик

Klevno V.A. Der Knochenbruch als biotribologisches System Kongressericht der 74. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin. Aachen vom 19-23. September 1995.- s.159. Бик

Klevno V.A. Die Rechtsmedizinische Diagnostik der Reihenfolge von deren Entstehung und ihre Vitalität bei stumpfen Traumen. 77. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin. Hannover.- 16-19.- September.- 1998.- s.15. Бик

[Пинчук Л.С., Чернякова Ю.М., Гольдаде В.А. Трибология суставов и проблемы современной ортопедии — Беларусь, Гомель, Государственное научное учреждение Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси, ISSN 0202-4977, 2008](#)