

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РФ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**ФРАКТОГРАФИЯ КАК НОВОЕ
НАПРАВЛЕНИЕ В ТЕОРИИ
И ПРАКТИКЕ
СУДЕБНОЙ МЕДИЦИНЫ**

Актовая речь

**Москва
1998**

В.Н.Крюков заслуженный деятель науки России,
профессор.

Фрактография как новое направление в теории и
практике судебной медицины. Актовая речь. - РГМУ,
1998. - 32с.

© Российский государственный
медицинский университет, 1998.

ФРАКТОГРАФИЯ КАК НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ТЕОРИИ И ПРАКТИКЕ СУДЕБНОЙ МЕДИЦИНЫ

Основными концепциями науки и практики судебной медицины являются судебно-медицинская танатология и судебно-медицинская травматология, корнями которых являются соответствующие клинические дисциплины. Применение названных наук как источника сведений о фактах, подлежащих установлению по уголовному (или гражданскому) делу, отличается особой процессуальной формой, именуемой экспертизой.

Учение о повреждениях является значительной составной частью медицинской науки. В практике судебно-медицинской экспертизы повреждения рассматриваются в нескольких аспектах. Прежде всего повреждения (различной этиологии - механические, химические, термические и т.д.) являются предметом оценки с позиций статей 111, 112, 113, УК РФ, как фактора, причинившего вред здоровью, или даже явившегося причиной смертельного исхода (статьи 105, 108 УК РФ). В любом случае при анализе повреждений необходимо решать целый ряд вопросов, касающихся природы конкретной травмы и обстоятельств ее возникновения. При этом оказывается необходимым высказать суждения о предмете, которым была причинена травма, о положении тела потерпевшего в момент причинения повреждения, виде и количестве внешних воздействий, а также последовательности нанесения повреждений, если они оказались множественными. Возникает большой комплекс вопросов, направленных на максимальную объективизацию, восстановление событий происшествия по характеру, виду и особенностям травмы. Поскольку судебное производство заинтересовано в максимальной "реставрации" всех деталей происшествия, пе-

ред судебно-медицинской экспертизой ставят на разрешение большое количество вопросов. Их разрешение связано с ретроспективной оценкой процессов травмы и нередко оказывается весьма затруднительным.

Бурное развитие промышленности в XX веке и все возрастающая технизация общества содержит в себе значительную отрицательную сторону - резкий рост травматизма. Только транспортная травма является причиной гибели сотен тысяч человек, а миллионы становятся инвалидами. Именно т.н. “механическая травма”, т.е. повреждения от действия твердых предметов (при транспортной травме, огнестрельных повреждениях, падении с высоты и т.д.) в настоящее время составляют основной предмет судебно-медицинской экспертизы.

Суждения об особенностях и механизмах травмы при экспертизе в короткие сроки после происшествия складываются из исследований повреждений на одежде, анализа характера повреждений кожного покрова, мягких тканей, внутренних органов и костей скелета.

Значительные осложнения для выводов об обстоятельствах и условиях травмы возникают при исследованиях разложившихся или скелетированных трупов. В этих случаях только изучение поврежденных костей может дать определенную информацию о природе механических воздействий на тело человека в момент происшествия.

Отдельные переломы возникают от непосредственного контакта повреждающего предмета с костью, как, например, при огнестрельных и рубленых травмах. В этих случаях поврежденная кость как бы “запечатлевает” следы от контактной части травмирующего предмета, что открывает возможности для последующей идентификации повреждающего орудия.

Значительное количество переломов оказываются закрытыми и несут информацию только об условиях их возникновения. Эти переломы, которые возникают от различных твердых предметов, не имеющих острого конца или края, в судебной медицине обозначают как возникающие от действия “твердых тупых предметов”. К этой группе повреждений принято относить все виды транспортной травмы, падение с высоты, в том числе и падение с высоты собственного роста, разнообразные повреждения, возникающие в бытовой обстановке.

В травматологии и криминалистике различают два вида внешнего воздействия: толчок (удар) и давление. Каждый из названных видов может сформировать деформацию в виде растяжения, сжатия, среза, изгиба или кручения. Могут возникать комбинации этих деформаций. При значительных величинах нагрузки деформации приводят к разрушению органа или ткани, а в случаях травмы костей - к перелому.

В основе судебно-медицинских и криминалистических методов обычно лежат достижения фундаментальных и прикладных наук. Эти методы должны быть научно обоснованы, должны быть подтверждены практикой и не вызывать никаких сомнений или двояких толкований. Все эти методы и способы применяются для ретроспективной оценки событий и восстановления по характеру и особенностям исследуемого объекта деталей происшествия.

Для оценки переломов костей были использованы положения механики разрушения, науки, возникшей в 70-х годах на стыке механики деформируемого тела, физики разрушений и материаловедения.

Под разрушением подразумевается макроскопическое нарушение сплошности физического тела (материала) в результате механических или других воздействий.

Основной концепцией механики разрушений, базирующейся на инженерном анализе нагрузок и напряжений, прикладной механике, структурной механике и материаловедения, является учение о *зарождении и развитии трещины*.

Появление и развитие трещины в твердом теле возможно вследствие различного рода внешних условий - химических воздействий, радиации, температурного влияния, медленных или скоротечных механических нагрузок и т.п.

Зарождение трещины - это, в принципе, начало разрушения. Трещина может подрастать медленно, как, например, усталостная трещина. Однако рано или поздно, особенно при продолжающемся внешнем воздействии, даже минимальном, трещина достигает критической величины и процесс разрушения приобретает лавинообразное течение. Даже в ходе т.н. медленного развития трещина прирастает скачкообразно.

При рассмотрении понятия "разрушение" в настоящее время существует два подхода: моделирование как процесса продвижения магистральной трещины или как процесса зарождения множественных дефектов (микро- и макротрещин) с последующим слиянием их между собою. Если первый подход наиболее разработан и составляет базовую модель механики разрушения, позволяет решать многие практические задачи, то второй, являясь более совершенным и точным, в отношении математических расчетов пока еще находится в стадии разработки.

В последнее время появились работы, обобщающие применение названных теорий и показывающие возможность создания единой модели, снабженной математическим аппаратом.

Основными факторами, определяющими процесс разрушения и морфологию излома, являются:

■ “материал” (свойство структуры вещества деформируемого тела);

■ “тело” (конструкционные особенности, размеры, форма, состояние поверхности, наличие на ней неровностей и т.п.);

■ “условия нагружения” (скорость нагружения, скорость деформации, запас упругой энергии, температура, окружающая среда).

Все эти составляющие в каждом конкретном случае разрушения выступают взаимосвязанно и их рассмотрение как по отдельности, так и в совокупности, является весьма сложным.

Структура материала и его свойства являются главными факторами, определяющими процесс разрушения и формирование поверхностей этого разрушения.

Известно, что материалы принято делить на *хрупкие* и *пластичные*. Однако это различие относительно и зависит от характера и напряженно-деформированного состояния, скорости деформации, температуры и т.д. При отдельных условиях (например, дополнительном всестороннем сжатии) хрупкий материал может вести себя как пластичный. И наоборот, если пластичный материал подвергнуть всестороннему равномерному растяжению, то в нем будут возникать касательные напряжения, а потому не будут происходить процессы сдвига, а разрушение будет протекать как в теле, изготовленном из хрупкого материала. Таким образом, правильнее говорить не о “хрупком” и “пластичном” материалах, а о хрупком или пластичном его *состоянии* в тех или иных конкретных условиях разрушения.

Из вышеизложенного вытекает, что разрушение по его виду следует разделять на *хрупкое* и *вязкое*.

Вязкому разрушению предшествуют значительные величины общей и местной пластической деформации. Пер-

вая - обуславливает необратимые изменения размеров и формы всего тела при нагрузке. Вторая - возникает в наиболее слабом месте, в области зарождения и развития трещины.

Пластическая деформация значительно увеличивает долю касательных напряжений, в связи с чем образовавшаяся трещина продвигается зигзагообразно путем сдвига. Скорость протекания процесса вязкого разрушения обычно невелика, а сам процесс легко остановить, снизив приложенные напряжения. Понятие о вязком разрушении, в сущности, связано с характеристикой сопротивления материала распространению трещины. Названному виду разрушения соответствует *вязкий излом*.

Хрупкое разрушение отличается высокой скоростью процесса, слабой сопротивляемостью материала распространению трещины в нем, незначительной как общей, так и местной пластической деформацией.

Хрупкое разрушение происходит в несколько этапов.

Поскольку зарождение трещины происходит при относительно малой скорости, то на этом этапе в области фронта трещины выражены пластическая деформация и, естественно, соответствующая ей морфология излома.

В зоне максимальных растягивающих напряжений первичное разрушение возникает во многих местах, где имеются дислокации. Однако явление разрыва молекулярных связей в материале получает развитие роста в каком-то определенном месте. Точечный дефект распространяется во все стороны, принимая форму щели с образованием элементов, характеризующих названный растущий дефект как *трещину* сначала на микроуровне, а затем - по мере роста - как *генеральную трещину*. Возникшая трещина располагается в плоскости действия максимальных нормальных (растягивающих) напряже-

ний и представляет собой участок излома, расположенный *перпендикулярно направлению растяжения и формирующийся в результате отрыва.*

При достижении трещиной критических размеров начинается ее самопроизвольное стремительное распространение через материал конструкции.

Главными факторами, влияющими на процесс распространения трещины, являются *динамика изменений конструктивных свойств разрушаемого тела, анизотропия материала и дефекты в нем.*

В условиях деформации растяжения и напряжений *отрыва* формируется *хрупкий излом.*

Применительно к разрушению однородных поликристаллических тел принято рассматривать структуру и процесс развития *макротрещины.*

В процессе развития трещины выделяют ее отдельные элементы: вершину, фронт, края (берега) и поверхности отрыва (излома). Фронтом трещины считается линия, соединяющая противоположные берега трещины. При росте трещины и разделении физического тела на части эта линия (фронт трещины), перемещаясь, будет описывать некую геометрическую поверхность, называемую поверхностью разрушения (излома).

При движении (росте) трещины в зоне ее вершины возникают пластические течения, которые как бы окружены районом упругой деформации. В процессе разрушения общая деформация тела влияет на упругую зону, а та, в свою очередь, на форму и размеры пластического течения.

При продвижении трещины в области ее вершины возникают упругие напряжения отрыва, поперечного или продольного сдвига, либо их сочетание с различной степенью участия. Они определяют динамику трещины, ее тра-

екторию и морфологию поверхности излома. Тип разрушения представляет собою его геометрическую характеристику.

Независимо от вида внешнего механического воздействия и характера деформаций твердое тело при концентрации силовых напряжений начинает разрушаться в какой-то конкретной геометрической точке, обладающей относительно минимальными запасами прочности. По своему характеру это разрушение всегда разрыв. Среди всех вариантов разрушения разрыв обладает самым низким энергетическим уровнем.

Возникнув, разрывная трещина начинает расти, вследствие чего начальная геометрия разрушаемого тела резко искажается. Это приводит к изменению изначальной топографии силовых напряжений, обладающих более высоким энергетическим уровнем, а разрушение разрыва переходит в сдвиг или срез.

Каждый из названных видов разрушения (разрыв, сдвиг, срез) имеет свою характерную морфологию.

Разрыв отличается ровной прямолинейной траекторией. Плоскость разлома ровная, край трещины образует прямой угол с поверхностью разрушаемого тела.

Участок трещины, сформированный вследствие сдвига, характеризуется параболической траекторией и возникновением параболических же трещин 1 и 2 порядка. При дальнейшем росте трещина почти под прямым углом меняет свою траекторию, образуя зубчатую поверхность разлома. Края генеральной трещины имеют зубчатый характер, плоскость разлома перпендикулярна поверхности разрушаемого тела.

Генеральная трещина вследствие разрушения от среза отличается прежде всего изменением своей траектории, поворотом плоскости вокруг продольной оси. Плоскость

разлома становится косой по отношению к начальному участку трещины. Разлом приобретает тоже зубчатую поверхность. Однако гребни имеют косую ориентацию по отношению к направлению распространения генеральной трещины.

В процессе разрушения, на отдельных его этапах, деформации сдвига и среза могут заменять друг друга или комбинироваться в той или иной степени. Это обстоятельство значительно меняет морфологию разрушения.

При деформации I типа (разрыв) кость (или ее экспериментальный образец) начинает разрушаться, как было указано, в каком-то конкретно определенном месте, где растягивающие силовые напряжения достигли максимума и кость в этом месте не в состоянии сопротивляться внешним усилиям. Возникает очаг разрыва костного вещества, который растет во все стороны в соответствии с анизотропией кости. Как при исследовании образцов кости в эксперименте, так и в экспертных наблюдениях было установлено, что такой начальный очаг разрушения располагается в приповерхностной зоне. Площадка первичного разрыва костного вещества *всегда* имеет *нормальную* (перпендикулярную) ориентацию по отношению к поверхности кости, а сама площадка имеет мелкозернистую поверхность. Величина такой площадки может быть различной, что зависит от большого количества внешних факторов и строения кости.

Повышение скорости разрушения связано с уменьшением вязкости разрушения и возрастанием хрупкости излома. *Протяженность* распространения хрупкой зоны излома может быть использована для диагностики скорости внешнего воздействия. Наряду с этим, чем более хрупкий материал (например, старческая кость), тем больше зона охрупчивания.

При росте трещины резко меняются условия деформации конструкции, что приводит к появлению и присоединению деформаций II и III типов (или даже замена ими). В экспертной практике наиболее часто встречаются повреждения костей вследствие их изгиба под влиянием внешнего воздействия.

Зарождение, рост и развитие трещины кости при изгибе имеют свои особенности.

Наиболее частым объектом экспертного внимания являются переломы диафизов длинных трубчатых костей.

Зона начала разрушения диафиза длинной трубчатой кости вследствие изгиба располагается на выпуклой стороне дуги, где сосредотачиваются наибольшие значения растягивающих напряжений.

Она полностью отражает явления деформации I типа: прямая линия разрыва ориентирована нормально к поверхности кости.

Следует иметь в виду, что кость, как композитный материал, имеет относительно слабые поверхности раздела (обычно между гаверсовыми системами), которые при развитии трещины могут оказывать на нее "тормозящее" или "разделяющее" действие и даже изменять ее траекторию.

Присоединение сдвиговых деформаций оказывает резкое влияние на траекторию распространения трещины, которая начинает отклоняться. От магистральной трещины начинают отходить множественные *пасынковые* (вторичные) трещины под углом 20-40 градусов по отношению к траектории генеральной трещины.

Пасынковые трещины могут приобретать параболическую траекторию. Довольно часто они возникают на проксимальном и дистальном отломках длинных трубчатых костей и в совокупности с генеральной трещиной состав-

ляют узор в виде веера, отчего в свое время и получили наименование “веерообразных”.

По ходу пасынковых трещин могут встречаться участки неповрежденного поверхностного слоя кости и траектория их становится прерывистой, что, вероятно, обусловлено анизотропией кости и сложными волновыми процессами, происходящими при разрушении.

Ветвление трещины может быть использовано в качестве диагностического признака, указывающего на место, *откуда* и в каком направлении распространялась генеральная трещина.

Зона первоначального разрушения переходит в зону, на поверхности которой регистрируются *рубцы*. Особенно хорошо они диагностируются на поверхности разрушения, проходящей в направлении расположения остеонов (или косо к нему). На поверхности разрушения поперечно оси расположения остеонов они менее выражены вследствие того, что маскируются окружающими их выступами и впадинами. Названные рубцы расходятся радиально от края площадки первоначального разрушения.

Наряду с радиальными рубцами на поверхности излома можно диагностировать т.н. *шеvronные* рубцы.

Шевронные рубцы возникают при совокупности условий, когда:

а) трещина распространяется в конструкции (или на ограниченном участке материала), имеющей в сечении полосовидную форму и определенную толщину (ширину);

б) относительно высокая и стабильная скорость распространения трещины на данном участке;

в) фронт движущейся трещины должен иметь дугообразную форму, т.е. разрушение распространяется сначала в центральной части и несколько “отстает” по краям.

Выступающая часть движущегося фронта трещины, идущая по центральной линии полосовидного участка, является постоянным “источником” рубцов, располагающихся последовательно на поверхности разрушения. Стремясь расположиться перпендикулярно движущемуся дугообразному фронту, они несколько изгибаются и косо идут к берегам трещины, формируя довольно характерный рисунок.

Углы рубцов шевронного узора указывают на очаг зарождения разрушения, а расходящиеся стороны угла - на направление движения трещины.

Выраженность шевронных узоров далеко не всегда одинакова, что зависит не только от ориентации траектории трещины по отношению к гаверсовым каналам, но и от толщины компактного вещества.

Угол краевого рубца с берегом трещины “указывает” на направление развития трещины.

Суммируя изложенное, можно дать следующую характеристику разрушению от деформации *отрыва*:

1. Прямолинейная, нормально ориентированная к растягивающим напряжениям, траектория трещины;
2. Ровные края излома;
3. Плоскость излома нормально ориентирована по отношению к краям излома;
4. Хрупкий излом (поверхность излома ровная или слегка шероховатая);
5. Ветвление трещины;
6. По краю первичного очага разрушения наличие на поверхности излома радиальных, шевронных и краевых рубцов.

Зарождение и продвижение трещины при деформации *сдвига* в хрупком и хрупко-пластическом материале является более энергоемким процессом по сравнению с де-

формацией отрыва. Следовательно, разрушение от сдвиговой деформации всегда стремится перейти в разрушение, в котором бы преобладала деформация отрыва. Т.о., сущность явлений при сдвиговых деформациях определяется тем, что *впереди фронта трещины возникают множественные микроразрушения в плоскости вновь создающихся максимальных растягивающих напряжений.*

Названные микроразрушения располагаются под углом около 45 градусов по отношению к направлению касательных напряжений и тем самым определяют дальнейшую траекторию трещины. Следует указать, что разрушение кости от сдвига "в чистом виде" встречается редко и исключительно на ограниченных участках.

Как показали исследования М.Н.Нагорнова (1992), при малых размерах зоны пластической деформации в области фронта трещины (хрупкое состояние материала!) присоединение сдвиговой деформации приводит к *изменениям траектории трещины* и ориентации плоскости излома кости. Если же размеры зоны пластической деформации более значительны, *направление траектории трещины относительно постоянно, но изменяется морфология поверхности разрушения.* Возникает вязкий излом, а на поверхности разрушения образуются *гребни* поперечного или продольного сдвига.

. Определить вид сдвига в том или ином участке излома можно только в том случае, если известно расположение фронта трещины в конкретный момент разрушения. В противном случае разрушение определяется просто как *сдвиг.*

При выраженной зоне пластической деформации морфология *поперечного* сдвига, как было указано, обусловлена зарождением множественных микротрещин перед

фронтом движущейся генеральной трещины в плоскости максимальных отрывных напряжений. Слияние генеральной трещины и микротрещин формирует гребни поперечного сдвига.

Траектория трещины становится ломаной, края (берега) излома мелко- или крупнозубчатыми. При распространении трещины в направлении *вдоль* остеонной системы при деформации поперечного сдвига на поверхности излома образуются характерные *ступеньки*, ориентированные *вдоль* фронта трещины (т.е. перпендикулярно направлению ее распространения). Они являются “продуктом” слияния двух микротрещин, расположенных в двух разных плоскостях, но сливающихся между собою при прохождении генеральной трещины.

Таким образом, для *комбинации* деформации отрыва и поперечного сдвига характерным является:

1. Изменение траектории движения трещины и ее криволинейность.
2. Зубчатые края излома.
3. Вязкий излом (или смешанный излом с преобладанием вязкого).
4. На поверхности излома гребни поперечного сдвига.
5. Образование на поверхности излома ступенек.

При движении трещины, в вершине которой действуют деформации продольного сдвига, происходит изменение ориентации ее плоскости и направления соответственно с максимальными растягивающими напряжениями.

Возникает *косой* излом. Берега (края) излома скошены (с одной стороны пологий, с другой - истонченный), мелко- или даже крупнозубчатые. От углублений между зубцами в области пологого края отходят пасынковые трещины под углом около 45 градусов в направлении

движения трещины. Зубцы на истонченном крае наклонены в сторону движения трещины.

В отдельных случаях промежутки между зубцами приобретают дугообразную форму за счет особенностей строения кости.

При выраженной зоне пластического течения в области вершины генеральной трещины могут формироваться гребни продольного сдвига.

Довольно характерным для деформации продольного сдвига является возникновение т.н. *боковых скосов*.

Боковые скосы возникают вследствие того, что свободная поверхность обуславливает при продвижении генеральной трещины развитие касательных напряжений. Размеры их увеличиваются по ходу распространения трещины. На хрупких изломах они представлены незначительно, на вязких - хорошо выражены. Таким образом, для деформации *отрыва* в комбинации с продольным сдвигом характерным является:

1. Изменение ориентации плоскости генеральной трещины и образование косого излома.

2. Зубчатый берег излома на истонченном крае.

3. Зубья истонченного края наклонены в направлении развития трещины.

4. Вязкий излом (или смешанный с преобладанием вязкого).

5. Наличие гребней продольного сдвига на поверхности излома.

6. Наличие боковых скосов.

Как уже было указано, морфология изломов оказывается неодинаковой в зависимости от развития генеральной трещины по отношению к направлению гаверсовой системы, что следует учитывать при анализе поверхности изломов.

Генеральная трещина может оказаться незавершенной и не разделять полностью деформированное тело на части. По отношению к кости в травматологии в этих случаях принято говорить о “трещине” или “неполном переломе” (“надломе”) кости. Завершенная трещина, разделяющая конструкцию (физическое тело) на две и более части, в медицине обозначается как перелом. Под переломом в травматологии подразумевают и трещину плоских костей, например, черепа, если в процесс разрушения вовлечены и наружная, и внутренняя костные пластинки, а само разрушение ограничено одной или двумя смежными костями. Т.о., понятие трещины в технической и судебно-медицинской литературе не однозначно.

В большинстве случаев дело приходится иметь с полным разрушением (разъединением) деформируемого тела. Зона завершения развития трещины при разъединении разрушаемого тела обозначается как “долом”.

Зона долома - это всегда вязкое разрушение, и все его морфологические проявления выступают наиболее четко. У одних и тех же объектов (костей) при их разрушении в идентичных условиях зона развития трещины и зона долома оказываются неодинаковыми по своей морфологии. Это прежде всего зависит от свойств материала. В судебно-медицинской практике анализа переломов костей названное явление ярко подчеркивает индивидуальные и особенно возрастные свойства кости в соответствии с колебаниями значений модуля Юнга в каждом конкретном случае.

Скелет человека состоит более чем из 200 костей. В процессе эволюции в костях сформировались и установились конкретные пропорции и оптимальные конфигурации, отвечающие выполнению конкретной задачи защиты, опоры и локомоторных функций. Не касаясь многочис-

ленных функций, таких, как регуляция рН, водно-солевого обмена, кроветворения и т. д., следует отметить, что костная ткань явилась прообразом наиболее совершенных из созданных человеком строительных и архитектурных материалов и сооружений (Шуховская башня, Эйфелева башня и пр.).

На тканевом уровне кость представляет из себя самый оптимальный биологический композитный материал. Это отмечено многочисленными исследованиями различных авторов. Сочетая прочность и упругость, костная ткань по своим характеристикам равнозначна железобетону, серому чугуну и т.д. Особый интерес представляет исследование формы и конфигурации не только каждой из костей в отдельности, но комплексов, которые они образуют: череп, грудная клетка, позвоночник, таз. Из учения о сопротивлении материалов известно, что устойчивость твердых тел по отношению к внешним воздействиям определяется, в первую очередь, свойством материала (его прочностными характеристиками) и второй двуединой составной частью - формой или конфигурацией.

Изучение отдельных костей скелета на органном уровне выявило важные данные.

В 60-х годах нами был использован метод электротензометрии - в то время новый способ учета силовых напряжений в деформируемом теле в теории и практике сопротивления материалов и механике разрушения. Следует указать, что деформация - это не столько изменение формы, как принято считать, а прежде всего развитие силовых напряжений.

Методом электротензометрии было установлено, что в зависимости от условий внешнего нагружения в кости возникают силовые напряжения, которые оказываются неодинаковыми как качественно, так и количественно в

одной и той же кости. Более того, оказалось, что не существует двух одноименных костей (плечевых, бедренных, ребер и т.д.), которые бы имели идентичную топографию силовых напряжений при одинаковых условиях нагружения. Особенно ярко это проявилось при изучении комплексов скелета - черепа и таза. Тем не менее были установлены отдельные важные закономерности, относящиеся к характеристике конфигурации костей в конкретных анатомических зонах.

По итогам этого цикла исследований было выполнено 4 докторских и 12 кандидатских диссертаций, а также издан "Атлас топографии силовых напряжений в костях при травме" (1977 г.), опубликовано 3 монографии.

Электротензометрические исследования выявили вариации прочностной характеристики одной и той же кости в разных ее зонах, например, у длинных трубчатых костей на протяжении диафиза. Рижской группой ученых (И.В.Кнетс и др., 1974-1977) были зарегистрированы в диафизах длинных трубчатых костей т.н. разнотвердые зоны не только на протяжении кости, но даже в одной и той же плоскости. К этому периоду нам было уже известно из работ Г.И. Копылова (1972г.), что топография микроэлементов в кости - в частности, на протяжении диафизов - оказывается весьма своеобразной и тесно связана с распределением силовых напряжений. Распределение конкретных микроэлементов характеризует области кости, испытывающие определенные виды напряжений, и напрямую связано, надо полагать, с пьезоэлектрическими явлениями, возникающими в момент нагрузок.

Электротензометрическими исследованиями было обосновано и доказано, что на основании анализа особенностей траектории разрушения возможно делать научно обоснованные выводы о механизмах травмы и устанавливать

направление внешнего воздействия. Были показаны морфологические различия между переломами, которые возникают в месте внешнего воздействия и на протяжении. Первые возникают от непосредственного контакта повреждающего предмета с костью и получили наименование “контактных” или “локальных”. Возникнув в месте удара, они могут (в зависимости от величины внешнего воздействия) распространяться на всю кость.

При ударах и при сдавлении первичное разрушение кости может возникать и на протяжении - в местах, где силовые напряжения достигают своего максимума. Возникнув, трещина распространяется как к месту приложения силы, так и в противоположном направлении. Такая концентрация силовых напряжений, сопряженная с разрушением кости в отдалении от контакта с повреждающим предметом, всегда обуславливается особенностями конфигурации кости. Сами разрушения (переломы) получили обозначение как “конструкционные”, т.е. зависящие от конструкции (формы) кости. Были тщательно исследованы их морфологические различия и особенности траекторий разрушения, зависимость от толщины костной пластины, микротвердости и направления внешнего воздействия.

Конструкционные повреждения являются результатом преимущественно давящих нагрузок, а если и ударных, то при относительно небольших скоростях. При достижении нагрузки критических величин в соответствии с топографией силовых напряжений в определенных местах возникают микротрещины, занимая большую или меньшую площадь. Микроскопическое исследование кости в предразрушительном периоде выявило качественную характеристику этих микротрещин как эквивалента подпорогового начала разрушения. В случаях ударных нагрузок на-

званные микротрещины локализуются в относительно небольшой зоне ударного контакта в области зарождения генеральной трещины. При медленно нарастающих (давящих) нагрузениях площадь, на которой регистрируются микротрещины, увеличивается в несколько раз, и они выявляются в местах, где формировались деформации критических величин, но разрушение не возникло.

Различие в качественном и количественном отношениях микротрещин, возникающих в костной ткани при ударе и давлении, открывает путь для дифференциальной диагностики этих двух видов внешнего воздействия при травме тупыми предметами.

В соответствии с существующими расчетными схемами несущих элементов кости по их форме, как было указано, можно подразделить на четыре группы: стержнеобразные (длинные и короткие трубчатые кости, ребра), пластинкообразные (лопатка, грудина, крылья подвздошных костей при изолированной травме), оболочки (череп, таз), объемные тела (позвонки, кости запястья и предплюсны).

Наиболее детальные математические расчеты произведены в отношении стержнеобразных тел (прямой брус, ломаный, кривой, круглый, пространственный и т.п.) и пластин, чего нельзя сказать в отношении оболочек (особенно несимметричной конструкции), а также массивных (объемных) тел.

Устойчивость по отношению к внешним нагрузкам обычно определяется по топографии силовых напряжений и их концентрации. Наиболее доступными для учета оказываются поверхностные силовые напряжения, которые наиболее часто оказываются ответственными за начало формирования разрушения (зарождения и развития генеральной трещины).

В технике отработано довольно значительное количество методов, позволяющих фиксировать не только топографию напряжений, но и их количественную характеристику. Заслуживает упоминания метод “лаковых покрытий”, сущность которого заключается в том, что на исследуемую конструкцию или деталь (кость) наносят слой специального лака. При нагружении детали хрупкая пленка лака растрескивается в направлении, нормальном распределению максимальных деформаций растяжения.

Другим, не менее эффективным методом, является метод фотоупругости, сущность которого состоит в деформировании моделей изучаемого объекта, изготовленных из прозрачных материалов (бакелит, искусственные смолы и пр.). При этом подлежат анализу явления оптической анизотропии и связанного с ней двойного лучепреломления. Метод неудобен тем, что из специальных материалов изготавливаются копии объектов, а по отношению к отдельным костям соблюсти точность копий оказывается весьма проблематичным.

Несомненно, что для изучения деформативных процессов в костях при их внешнем нагружении с успехом могут быть из техники заимствованы такие методы, как резонансный, импульсный ультразвуковой, поверхностной волны, электромагнитной индукции, поглощения СВЧ-волн и т.д.

По мере накопления фактов все эти данные (начиная с 1965 г) сразу внедрялись в практику судебно-медицинской экспертизы. Вооружая судебно-медицинских экспертов конкретными доказательствами, названные материалы помогали избегать ошибочных суждений о направлении внешнего воздействия.

Основываясь на полученных данных, оказалось возможным устанавливать по особенностям и характеру разру-

шения кости направление внешнего воздействия при одной и той же локализации перелома. Так, например, по особенностям перелома плеча в области хирургической шейки можно диагностировать, было плечо в момент падения потерпевшего прижато к туловищу, отведено в сторону, вперед или назад. Это, в свою очередь, позволяет с высокой долей вероятности судить о положении тела потерпевшего в момент травмы.

Практика судебно-медицинской экспертизы показывает, что множественные повреждения могут возникать как одномоментно (что особенно характерно для транспортной травмы и падения с высоты), так и вследствие повторных воздействий, зачастую одним и тем же предметом.

Удар широкой плоскостью (или при ударе о таковую) приводит к формированию множественных повреждений, которые в короткий промежуток времени развиваются в определенной последовательности в соответствии с законами разрушения конкретной конструкции, т.е. возникают переломы и локальные, и конструкционные.

Образование множественных повреждений от воздействия ограниченным предметом подразумевает и неоднократную травму. И в том, и в другом случае при определении механизмов травмы необходимо установить *последовательность* развития процесса разрушения.

На сегодня решение названной задачи весьма затруднено, несмотря на многочисленные поиски, предпринятые многими исследователями.

При оценке последовательности образования повреждений мягких тканей нередко пользуются данными гистологических и гистохимических исследований, результаты которых базируются на различной степени выраженности воспалительной реакции. Этот метод дает особо значи-

мые результаты в тех случаях, когда временной промежуток между причинением предыдущего и каждого последующего повреждений оказывается достаточным для развития различной степени воспалительной реакции. Неодинаковость в морфологической картине воспаления в области повреждений мягких тканей позволяет проводить дифференциальную диагностику между ними, особенно в тех случаях, когда последующее воздействие отделял от предыдущего временной интервал, исчисляемый не менее, чем десятками минут. Из-за особенностей развития воспалительной реакции в костной ткани в ответ на повреждение гистологический метод пока мало приемлем. Следует полагать, что в этом направлении могли бы дать весьма обнадеживающие результаты гистологического исследования надкостницы из области переломов, однако таких исследований до сих пор проведено не было.

Обращение к технической литературе оказалось малопродуктивным, поскольку именно *первоначальное* разрушение, выводящее конструкцию из строя, оказывается главным и основным объектом инженерного исследования. Разрушения от последующих дополнительных воздействий очень редко составляют предмет внимания соответствующих специалистов.

В прошлом веке судебными медиками для анализа переломов был заимствован из металлургии признак т.н. “непересечения трещин”. Если в хрупком теле вследствие внешнего воздействия образовалась трещина, то возникающие при последующих воздействиях трещины, достигая ранее образовавшейся, не пересекают ее. Этот признак был описан вначале Шавиньи, а затем Никифоровым и известен в судебной медицине как “признак Никифорова-Шавиньи”, и распространяется он, в основном, на огнестрельные повреждения плоских костей черепа.

Воздействие тупого твердого предмета на кость приводит к возникновению перелома, т.е. разрушению в той или иной степени. Оно может быть местным (локальным), например, как вдавленный или дырчатый перелом, но может оказаться и обширным, множественным или многооскольчатым, в зависимости от величины импульса. Повторное воздействие может локализоваться в зоне первичного разрушения, но может и отстоять на каком-то расстоянии или вообще располагаться на другой части кости или костного комплекса.

Естественно полагать, что конструкция, в которой возникло повреждение в виде трещины, приобретает другие прочностные характеристики и обладает совсем другой топографией силовых напряжений при внешнем воздействии на нее. Повторное воздействие, вызывая деформацию поврежденной конструкции, будет приводить к смыканию ранее образовавшихся трещин (от первоначального разрушения) и скольжению этих поверхностей относительно друг друга. Возникают явления дополнительного разрушения поверхностей и краев первичных изломов. Кроме того, возможны и такие явления, как увеличение (продолжение) роста трещин, возникших при первичном воздействии. Несомненно, что рост таких трещин будет осуществляться по другому механизму, что отражается на фрактографической картине излома.

Таким образом, выявление морфологических признаков повторной травматизации *в зоне первоначально возникших разрушений* открывает возможность делать суждение об очередности возникновения разрушения и тем самым - о последовательности внешних воздействий.

Названные теоретические предпосылки и были положены в основу серии работ, выполненных в последнее десяти-

тилетие и посвященных диагностике последовательности причинения повреждений костей.

Следует отметить, что после возникновения первичного разрушения последующие удары далеко не всегда сопровождаются переломами.

Если исходить из того положения, что деформируемое твердое тело, имеющее трещину, подвергается повторной травматизации, то мы должны неизбежно предположить, что трещина должна “прирастать”, а поверхности и края этой трещины будут каким-то образом между собою вступать в контакт. В зависимости от взаиморасположения механическое взаимодействие будет каждый раз индивидуальным. Для того, чтобы это взаимодействие диагностировать, необходимо четко знать морфологическую картину первичного разрушения. Знание исходной морфологии трещины сразу делает возможным диагностику ее изменений в связи с другими последующими механическими воздействиями.

Эта простая идея исследовать края и поверхности переломов костей визуально и методом непосредственной микроскопии в целях диагностики механизма травмы, определения условий внешнего воздействия и установления направления удара, а также определять последовательность причинения травмы, быстро завоевала много сторонников, и метод фрактографии плавно вошел в практику судебно-медицинской экспертизы.

Так окончательно оформилось новое направление в судебно-медицинской травматологии - судебно-медицинская фрактография.

Механический контакт сопряженных поверхностей трещины при последующих ударах или сдавлении возникает во всех случаях повторного воздействия, если даже оно и не сопровождалось переломами.

Оказалось, что подавляющее большинство признаков, характеризующих механизм травмы, выявляется и при рентгенологических исследованиях, что тоже сразу было принято на вооружение при освидетельствовании потерпевших в случаях несмертельных исходов травмы.

Сопряженные отломки костей вступают между собою в механический контакт от последующих воздействий неодинаково. Чаще всего такое взаимодействие связано с дополнительным механическим разрушением краев и текстуры поверхности перелома, вклиниванием их друг в друга и формированием добавочных разрушений, не укладывающихся в основной механизм перелома. Это и продольные расщепления компакты, выкрошивание краев первичного перелома, отгибание компактной пластинки у плоских костей и т.д.

В практике судебно-медицинской экспертизы нередко встречаются случаи, когда после причинения перелома второй удар не сопровождается травмой костей. При ушибленных ранах головы на волосистой части образуются кроме этого еще и повреждения волос. При ударе тупогранным предметом волосы в месте соприкосновения повреждающего орудия с поверхностью кости фрагментируются, образуя мелкие обрывки 0,5-3,0 мм. То же самое происходит и с некоторыми видами хлопчатобумажного или шерстяного материала головных уборов. В случаях повреждения только мягких тканей при целости костей свода черепа нередко повреждается и надкостница. На дне раны оказываются зияющими венозные выпускники. В момент удара фрагменты волос и нити одежды внедряются в эти каналы, иногда на значительную глубину - до 0,5-1,5 см. Сохраняясь неопределенно долго в кости, такие "включения" сами по себе являются вещественными доказательствами. А в случаях неповрежденной наруж-

ной пластинки костей свода черепа это является свидетельством причинения удара подпороговой мощности.

В случаях переломов ребер последующая травма (в любом направлении) грудной клетки приводит к внедрению отломков ребер друг в друга с образованием всех признаков дополнительных разрушений краев первично возникших переломов. Такие признаки возникают и тогда, когда при последующих ударах не возникает переломов ребер.

Если после получения переломов ребер потерпевший жил и дышал какое-то время, то трение отломков ребер приводит к изменениям первоначальной картины поверхности излома. Вследствие взаимного скольжения отломков возникают процессы натира, наклепа, т.е. протекают механические процессы, изучаемые недавно сформировавшейся наукой - трайбологией. Оценка степени трайбологических изменений поверхности разлома позволяет делать оценку длительности процесса трения и тем самым судить о продолжительности жизни потерпевшего после получения травмы.

В настоящее время фрактографические исследования являются неотъемлемой частью медико-криминалистических лабораторий судебно-медицинских бюро России. Этому методу исследований посвящено большое количество публикаций, 8 докторских и 22 кандидатских диссертаций. Он получил всеобщее признание и нашел отражение в III издании БМЭ (т.29, стр. 534-536). Опубликовано руководство "Основы морфо- и механогенеза переломов" (1995., 230 с.), основные положения фрактографии изложены в справочниках, руководствах и монографиях по судебно-медицинской травматологии, учебниках по судебной медицине и криминалистике.

Особое место занимают исследования при решении вопросов о характере и механизмах разрушения кости, подвергшейся коррозии в силу каких-то внешних воздействий - химических или термических. Оказалось, что измененная, в силу указанных причин, костная ткань приобретает другие свойства и, как материал, разрушается по другим законам. Это, в свою очередь, позволяет дифференцировать переломы, возникшие до кремации, от переломов, появившихся после обугливания. То же самое относится и к костям, подвергшимся воздействиям химических реагентов, либо находившимся длительное время в захоронениях, способствующих коррозии костного вещества. Эти сведения были рационально использованы коллективом экспертов при оценке повреждений костных останков из группового захоронения под г. Екатеринбургом семьи Романовых и их приближенных.

Представляется перспективным изучение характера изломов хрящевой и костной тканей при различных патологических состояниях, а также в возрастном аспекте, что, несомненно, можно использовать не только при решении травматологических вопросов, но и при экспертизе идентификации личности скелетированных трупов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аникин Ю.М., Колесников Л.Л. Построение и свойства костных структур. - М.: ММСИ, 1992. - 180 с.
2. Дарков А.В., Швидко Г.С. Сопротивление материалов. - М.: "Высшая школа", 1989. - 622 с.
3. Дроздовский Б.А., Фридман Я.Б. Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей. - М.: Металлургиздат, 1960. - 260 с.
4. Клевно В.А. Автореферат докторской диссертации. СПб, 1991.
5. Кнетс И.В. Автореферат докторской диссертации. Рига, 1977.
6. Крюков В.Н. Автореферат кандидатской диссертации. М.: 2 МОЛГМИ, 1958.
7. Крюков В.Н. Основы механо- и морфогенеза переломов. - М.: Фолиум, 1995. - 232 с.
8. Мальцев А.Е. Автореферат кандидатской диссертации. М.: РГМУ, 1996.
9. Нагорнов М.Н. Автореферат кандидатской диссертации. М.: РГМУ, 1992.
10. Ратнер С.И. Разрушение при повторных нагрузках. - М.: Оборонгиз, 1959. - 352 с.
11. Регель В.Р. К вопросу о кинетике роста трещин в процессах разрушения твердых тел. - "Журнал технической физики, 1956, т. 26 вып. 2, с. 359-369.
12. Плаксин В.О. Автореферат докторской диссертации. М., 1996.
13. Саркисян Б.А. Автореферат кандидатской диссертации. Барнаул, 1977.
14. Черепанов Г.П. Механика разрушения композиционных материалов. - М., 1983. - 224 с.

В.Н.Крюков

**Фрактография как новое направление в теории
и практике судебной медицины**

Формат 60х90/16. Объем 2 п.л.
Тираж 250 экз. Печать офсетная.
Изготовлено в Издательстве ИКАР.
Тел.: 936-83-28