



Cinemática do trauma

Mauricio Vidal de Carvalho

A avaliação de um paciente traumatizado inicia-se antes mesmo da visualização da vítima, na fase pré-hospitalar do atendimento. Na avaliação da cena, a observação das circunstâncias nas quais ocorreu o evento, como o tipo de colisão automobilística (frontal, lateral, traseira), o grau de deformidade do veículo, a altura da queda, a velocidade dos corpos, o tipo e calibre das armas, entre muitas outras, permite que se estabeleça uma relação entre estes fatos e as possíveis lesões apresentadas pela vítima. Este estudo denomina-se cinemática do trauma, biomecânica do trauma ou mecanismo do trauma.

A observação do local na cena do evento faz parte da história do trauma. Os danos externos e internos constatados no veículo frequentemente representam informações valiosas que geram “pistas” para as lesões sofridas pelos seus ocupantes. Por exemplo, um volante deformado sugere impacto sobre o tórax, uma “fratura” circular do pára-brisa indica o local de impacto da cabeça e sugere uma possível lesão do crânio e/ou da coluna cervical. Uma deformidade na parte mais baixa do painel sugere o impacto e uma possível luxação de joelho, coxo-femural ou até uma fratura de fêmur. A intrusão da porta no compartimento dos passageiros leva a suspeita de uma lesão tóraco-abdomino-pélvica e/ou no pescoço da vítima.

A equipe que atende a um politraumatizado deve ter dois tipos de lesões em mente. O primeiro tipo são aquelas facilmente identificáveis ao exame físico. Já o segundo tipo refere-se às lesões ditas potenciais, ou seja, não são óbvias ao exame mas podem estar presentes pelo mecanismo de trauma sofrido pelo paciente. Dependendo do grau de suspeita destas lesões, danos menos aparentes, incluindo algumas lesões graves, podem passar despercebidos.

Deste modo, ressalta-se a importância de se conhecer a história do acidente. No trauma, assim como em qualquer outra doença, uma história clínica completa e precisa, desde que corretamente interpretada, pode levar à indicação ou suspeita de 90% das lesões apresentadas pela vítima.

Para que um objeto em movimento perca velocidade, é necessário que sua energia de movimento seja transmitida a outro objeto. No trauma, esta transferência de energia ocorre quando os tecidos do corpo humano são violentamente deslocados para longe do local de impacto, pela transmissão de energia. O movimento de fuga dos tecidos a partir da região de impacto causa uma lesão local por compressão tecidual e também à distância, a medida que a cavidade se expande por estiramento.

Estes fatores também estão presentes quando a pele é penetrada. A avaliação da extensão da lesão tecidual é mais difícil quando não existe penetração cutânea do que quando há uma lesão aberta. Traumatismos contusos que não deixam marcas visíveis na pele são especialmente passíveis de passarem despercebidos. Um soco desferido contra o abdome pode deformar profundamente a parede sem deixar marcas. Por isso é de fundamental importância pesquisar a história do evento que ocasionou a lesão.

A figura 01 ilustra estes fatos. Batendo com um taco de madeira, com a mesma intensidade, em uma lata de alumínio e em um pedaço de espuma, observa-se que a lata, após o impacto, mostra claramente que recebeu a transferência de energia devido à aparente deformidade. De outro modo, o pedaço de espuma instantaneamente após o impacto retoma sua forma original.

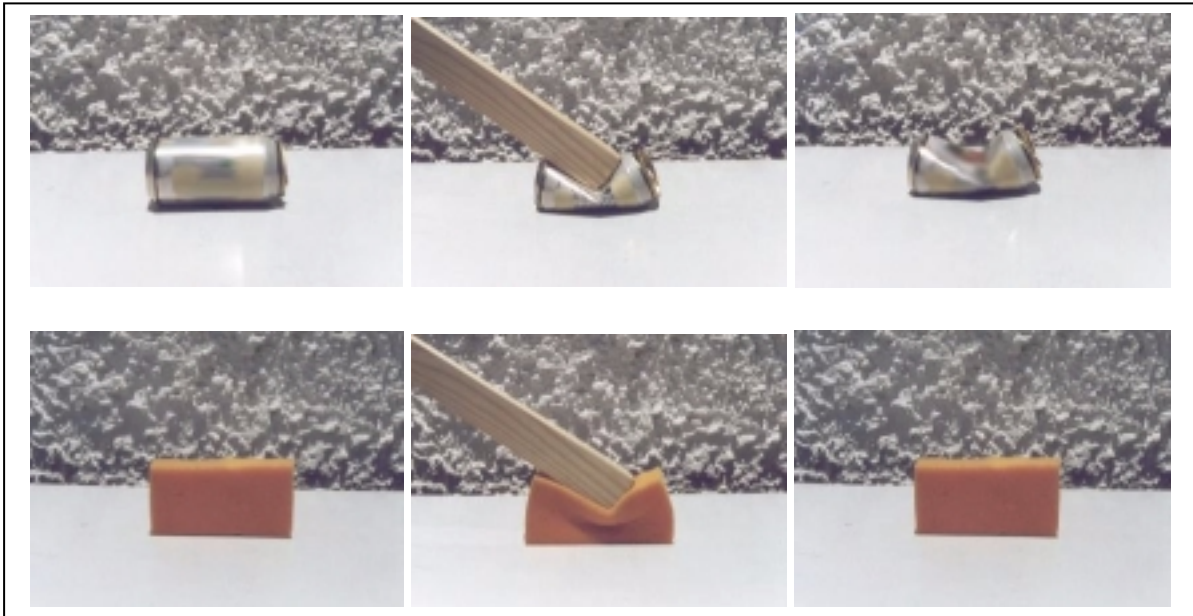


Fig. 01

Assim sendo, se não soubéssemos da “história”, não suspeitaríamos pela simples observação, que aquele material sofrera uma intensa absorção de energia.

Uma cavidade (ou deformação) visível após um impacto é definida como permanente, enquanto aquela que não é visível é definida como temporária. O tamanho da cavitação é determinado pela quantidade de energia transferida.

As cavidades temporárias são formadas no momento do impacto, sendo que os tecidos retornam a sua posição prévia após o impacto. Este tipo de cavidade não é visto pela equipe de resgate e nem pelo médico ao exame físico.

O outro tipo de cavidade é denominado permanente. Elas são causadas pelo impacto e compressão dos tecidos e podem ser vistas após o trauma. A diferença básica na formação dos dois tipos de cavidades é a elasticidade dos tecidos envolvidos.

Por exemplo, como na lata e na espuma, um chute no abdome pode deformar profundamente a parede sem deixar marcas visíveis, pois após o golpe, a parede volta à sua posição original, gerando-se somente uma cavidade temporária. Já quando um motoqueiro choca sua cabeça contra um obstáculo, geram-se múltiplas fraturas de crânio, não permitindo o retorno dos ossos às suas posições originais (afundamento de crânio). Isto forma uma cavidade permanente que é facilmente identificável ao exame.

Tipos de trauma

As lesões traumáticas podem ser classificadas em contusões, lesões penetrantes e por explosão. Ao obter a história clínica da fase do impacto algumas leis físicas devem ser consideradas:

- A energia nunca é criada ou destruída; ela pode entretanto mudar de forma.
- Um corpo em movimento ou em repouso tende a permanecer neste estado até que uma fonte de energia externa atue sobre ele.
- A energia cinética é igual à massa multiplicada pelo quadrado da velocidade, dividida por dois.
- Uma força é igual à massa multiplicada pela desaceleração (ou aceleração).

Trauma fechado (contuso)

O Trauma fechado ou contuso geralmente é resultante do impacto do corpo contra uma superfície, ou de um processo de desaceleração intensa e rápida. Em sua grande maioria são provocados por acidentes automobilísticos, podendo ocorrer também em quedas, agressões, traumas esportivos ou qualquer outra condição que possa produzir os mecanismos de força que se seguem:

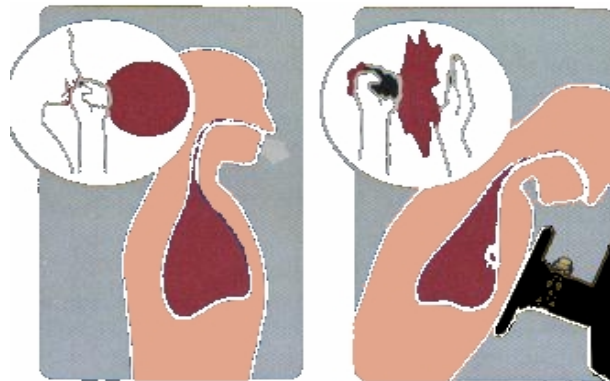
- **Força de constrição:** produz lesão do órgão pelo impacto contra uma superfície óssea.
- **Força tangencial:** traciona o órgão além dos seus limites de mobilidade.
- **Força de compressão súbita:** Geralmente atinge vísceras ocas causando a explosão das mesmas.

Mecanismos produtores de lesões orgânicas nos traumas contusos:

Lesão por compressão

As lesões por compressão ocorrem quando a parte anterior do tronco (tórax e abdome) deixa de deslocar-se para frente enquanto que a parte posterior continua a mover-se em direção anterior. A contusão miocárdica é um exemplo típico deste tipo de mecanismo de lesão.

Lesões análogas podem ocorrer com os pulmões ou com vísceras abdominais. Os pulmões e a cavidade abdominal podem estar sujeitos a uma variante peculiar deste tipo de lesão – o efeito do saco de papel. Se insuflarmos um saco de papel, o fecharmos e o comprimirmos abruptamente, ele se romperá. Pois bem, em uma situação de colisão, é instintivo que a vítima puxe e segure o fôlego, causando, portanto, o fechamento da glote. A compressão súbita da caixa torácica no momento do impacto produz, então, ruptura dos alvéolos e um pneumotórax simples ou hipertensivo (fig. 02). Na cavidade abdominal, por mecanismo semelhante, a hiperpressão pode ocasionar a ruptura de diafragma resultando no deslocamento de conteúdo abdominal para a cavidade torácica. Lesões por compressão do conteúdo craniano ocorrem pela ação de ossos fraturados que penetram na abóbada craniana ocasionando lesões cerebrais, ou pela compressão das porções anteriores do parênquima cerebral, ou ainda pela compressão das porções anteriores do parênquima cerebral contra a parede do crânio pelas porções posteriores do próprio cérebro.



Lesão por desaceleração

Os órgãos do corpo humano possuem estruturas de fixação próprias mais ou menos móveis de acordo com as características de cada órgão. As lesões por desaceleração desenvolvem-se quando a parada súbita do corpo ocorre e os órgãos internos continuam seu deslocamento rompendo suas estruturas de fixação ou a si próprio.

Por exemplo, em um impacto frontal, o coração e o arco aórtico continuam o deslocamento para frente enquanto a aorta descendente, acoplada à coluna torácica, desacelera rapidamente junto com o tronco. As forças de cisalhamento são mais intensas na interseção entre o arco aórtico, que é móvel, e a aorta descendente que é menos móvel, próximo ao ligamento arterioso. Este mesmo tipo de lesão pode ocorrer com o baço e os rins, na junção com os pedículos, com o fígado, quando os lobos direito e esquerdo desaceleram ao longo do ligamento teres e separam o fígado ao meio, e na caixa craniana, quando a parte posterior do cérebro se separa da calota rompendo vasos e resultando em lesões expansivas.

As principais causas de ferimentos contusos incluem:

- A - Colisão automobilística na qual a vítima encontra-se dentro do veículo
- B - Atropelamento de pedestre
- C - Colisão motociclística
- D - Quedas

Colisão automobilística

Uma colisão? Três colisões!

Um dos principais pontos para o bom entendimento do mecanismo produtor da lesão nas colisões automobilísticas é entender que uma colisão na verdade representa três colisões.

A primeira colisão ocorre entre o veículo e o objeto. A segunda colisão se dá entre a vítima e o interior do veículo. Finalmente, a terceira colisão ocorre entre os órgãos internos da vítima e estruturas de seu próprio corpo.

A interação entre a vítima e o veículo depende do tipo de colisão, que pode ser: frontal, lateral, traseira, angular e capotamento ou capotagem. A ejeção da vítima do interior do veículo também deve ser considerada separadamente.

Observe a figura 03. A **primeira colisão** se dá entre o veículo e o poste. A **segunda colisão** entre a cabeça da vítima e o pára-brisa e entre o tórax da vítima e o volante. E a **terceira colisão** entre o cérebro e o osso frontal e entre o coração e o osso esterno, ocasionando respectivamente traumatismo cerebral e contusão miocárdica.

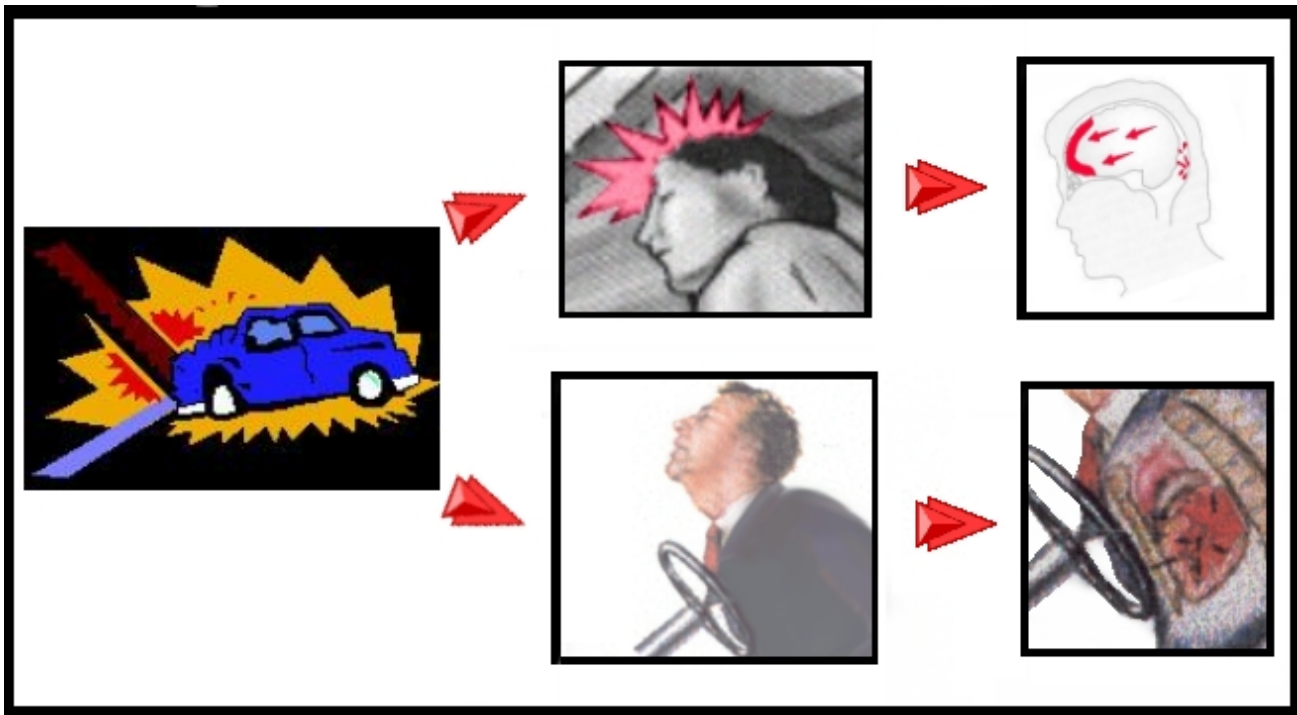


Fig.03

Colisão frontal:

Um impacto frontal é definido como uma colisão contra um objeto que se encontra à frente do veículo reduzindo subitamente sua velocidade. O ocupante do veículo que não se encontre devidamente contido continua a movimentar-se para frente (Primeira Lei de Newton) até que alguma parte da cabine reduza sua velocidade, ou então seja ejetado do veículo.

No impacto, a vítima pode escorregar para baixo e seguir uma trajetória tal que as extremidades inferiores sejam o ponto inicial de impacto, de modo que os joelhos ou os pés recebam a transferência inicial de energia podendo ocorrer:

Fratura-luxação do tornozelo.

Luxação do joelho a medida que o fêmur passa por cima da tíbia e da fíbula.

Fratura de fêmur.

Luxação posterior do acetábulo (fig.04) à medida que a pelve ultrapassa a cabeça do fêmur.



Fig.04. Colisão frontal. Vítima já no hospital apresentando luxação posterior do acetábulo. Observe o encurtamento do membro inferior direito e os sinais de trauma nos joelhos.

O segundo componente deste tipo de trajetória é a rotação anterior do tronco, contra a coluna da direção ou painel de instrumentos. Se a estrutura do assento e a posição da vítima são tais que a cabeça se torna a extremidade do “míssil humano”, o crânio choca-se com o pára-brisa ou contra a moldura que o sustenta. A coluna cervical absorve parte da energia inicial enquanto que o tórax e o abdome batem contra a coluna da direção ou contra o painel.

Colisão lateral:

Define-se impacto lateral como uma colisão contra o lado de um veículo capaz de imprimir ao ocupante uma aceleração que o afasta do ponto de impacto (aceleração oposta à desaceleração). Muitas lesões que ocorrem são semelhantes às aquelas que resultam de um impacto frontal. Além destas, podem ocorrer lesões de compressão do tronco e da pelve. A natureza das lesões internas é definida pelo lado do impacto, pela posição do ocupante e pela força do impacto (intrusão na cabine). O motorista que sofre um impacto de seu lado esquerdo (lado do motorista) tem risco maior de sofrer lesões à esquerda, por exemplo, fraturas de arcos costais à esquerda, lesão esplênica, e lesões esqueléticas à esquerda, incluindo a pelve. Um passageiro que sofre um impacto de seu lado terá um perfil semelhante de lesões, apenas que do lado direito, com destaque para possíveis lesões hepáticas.

Nos impactos laterais, a cabeça comporta-se como uma grande massa que roda e inclina lateralmente o pescoço à medida que o tronco é empurrado para longe do lado da colisão. Os princípios biomecânicos básicos são os mesmos tanto na colisão frontal como na lateral. Entretanto, ao examinar o paciente deve-se levar consideração às forças de aceleração e desaceleração assim como as peculiaridades anatômicas do lado acometido.

Impacto traseiro

Um impacto traseiro tem conotações biomecânicas diferentes. Habitualmente este tipo de impacto ocorre quando um veículo está totalmente parado e é atingido por trás por outro veículo. O veículo atingido, incluindo seus ocupantes, é jogado para frente à medida que absorve energia do veículo que o atingiu. O tronco dos ocupantes sofre uma aceleração para frente, juntamente com o veículo. Já a cabeça, quando o encosto de cabeça não se encontra devidamente posicionado, não acompanha esta aceleração fazendo com que o pescoço seja hiperextendido por cima do suporte. Esta hiperextensão estira as estruturas de sustentação do pescoço, produzindo uma lesão por mecanismo de chicote. Pode ocorrer também um impacto frontal, pois freqüentemente existe um terceiro automóvel logo na frente do veículo que sofreu o impacto primário.

Impacto angular

Um impacto angular, seja dianteiro ou traseiro, produz lesões que obedecem a variantes dos padrões observados nas colisões frontais e laterais ou posteriores e laterais.

Capotamento

Durante um capotamento, o ocupante do veículo que não esteja contido pode chocar-se contra qualquer parte do interior da cabine. As lesões podem ser deduzidas a partir da observação dos pontos de impacto na pele do paciente. Como regra geral admite-se que este tipo de colisão ocasiona lesões mais graves devido aos deslocamentos violentos e múltiplos que ocorrem durante o capotamento.

Ejeção

Ao contrário do que muitos acreditam a probabilidade de lesões, quando ocorre este mecanismo, aumenta cerca de 300%. Na avaliação da vítima de ejeção deve-se estar atento para a possibilidade de lesões ocultas.

Lesões devidas aos meios de contenção

A disponibilidade crescente do “air-bag” tende a reduzir de forma significativa, algumas lesões decorrentes de impactos frontais. Tais dispositivos não devem ser encarados como substitutos dos cintos de segurança, mas apenas como dispositivos complementares de proteção. Em colisões frontais, os ocupantes do veículo podem beneficiar-se do “air-bag”, mas apenas no primeiro impacto. No momento de um segundo impacto contra outro objeto, a bolsa já foi disparada e está desinsuflada. O “air-bag” não oferece qualquer benefício em capotamentos, colisões subsequentes, impactos laterais ou traseiros. O cinto de segurança de três pontos deve sempre ser usado para obter-se uma proteção mais completa.

Em colisões laterais, o cinto de dois pontos é um dispositivo eficaz, desde que utilizado corretamente. À medida que o veículo é deslocado lateralmente, o ocupante passa a movimentar-se para o mesmo lado pela ação do cinto de segurança, e não pelo impacto em si, ou pela porta do veículo. Quando o ocupante começou a afastar-se do ponto de impacto, é menos provável que ocorram lesões devidas à intrusão para dentro da cabine e através da porta.

Quando utilizado corretamente, o cinto de segurança pode reduzir as lesões. Usado incorretamente, pode ser responsável por algumas lesões, embora reduza o dano global. Para funcionar adequadamente, o cinto deve estar abaixo das espinhas ilíaca ântero-superiores e acima dos fêmures. Deve estar tencionado suficientemente para continuar bem posicionado durante os deslocamentos implícitos à colisão. Se usado inadequadamente, por exemplo, acima das cristas ilíacas ântero-superiores, o movimento de compressão da parede abdominal contra a coluna lombar pode lesar gravemente órgãos como pâncreas, fígado, baço e duodeno, além da possibilidade de produzir rotura do parênquima pulmonar pelo súbito aumento da pressão intra-abdominal que é transferida para o espaço pleural, produzindo um pneumotórax simples ou hipertensivo.

A hiperflexão contra um cinto mal posicionado pode ocasionar fraturas por compressão anterior da coluna lombar.

Atropelamento

O atropelamento é um dos principais tipos de acidente de trânsito, responsável por um enorme número de vítimas fatais e incapacitação física. O trauma conseqüente ao atropelamento é resultado de basicamente três fases de impacto. O primeiro impacto se dá contra o pára-choque do veículo, geralmente atingindo os membros inferiores e a pelve da vítima. Em seguida ocorre o impacto contra o capô e o pára-brisa, atingindo o tronco e a cabeça. O terceiro impacto se dá contra o solo, geralmente afetando cabeça, membros superiores, coluna vertebral e órgãos internos (fig. 05).

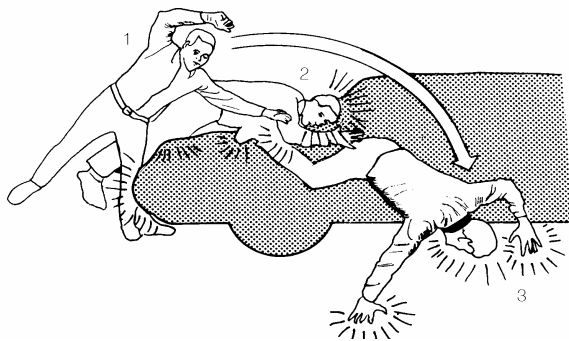


Fig. 05: Tríade do atropelamento do adulto.

Colisão / queda de motocicleta

O mecanismo do trauma em acidentes de motocicleta é em parte semelhante aos descritos anteriormente, porém, o motoqueiro e seu eventual passageiro não são protegidos por dispositivos como o cinto de segurança e o air-bag, nem pela estrutura do veículo. As quedas de motocicleta são importantes causas de lesões da medula e cérebro.

Podem ocorrer lesões por compressão, aceleração/desaceleração e cisalhamento. Porém, menor será o risco de ocorrerem, quanto maior for o número de equipamentos de proteção utilizados no momento do impacto (ex. capacete, botas, luvas, roupas, etc.)

Os mecanismos de lesão são:

- Impacto frontal/ejeção: quando a roda dianteira se choca contra um anteparo, a motocicleta pára subitamente. Obedecendo a 1ª Lei de Newton, o motociclista continua seu movimento para frente, até bater contra um objeto ou contra o solo. Durante esta projeção, sua cabeça, tórax ou abdome podem se chocar contra o guidom. Se for ejetado da motocicleta, seus membros inferiores, batem no guidom podendo levar a fraturas bilaterais de fêmur. Posteriormente ao se chocar com o solo, múltiplas lesões podem ocorrer.

- Impacto lateral/ejeção: podem ocorrer as mesmas lesões do impacto lateral em um automóvel. Porém são muito freqüentes as fraturas e esmagamentos dos membros inferiores. Se for ejetado da moto, pode sofrer múltiplas lesões.

- Derrapada Lateral: neste mecanismo, o motociclista pode sofrer graves abrasões e até mesmo avulsões dos tecidos.

Quedas

Vítimas de queda estão sujeitas a múltiplos impactos e lesões. Nestes casos, devem ser avaliados:

- Altura da queda: quanto maior a altura, maior a chance de lesões, visto que a velocidade em que a vítima atinge o anteparo é proporcionalmente maior e consequentemente a desaceleração.

- Compressibilidade da superfície do solo: quanto maior a compressibilidade, maior a capacidade de deformação, aumentando a distância de parada, diminuindo a desaceleração. Isto pode ser exemplificado quando se compara uma superfície de concreto e uma de espuma.

- Parte do corpo que sofreu o primeiro impacto: este dado permite levantar a suspeita de algumas lesões. Quando ocorre o primeiro impacto nos pés, ocorre uma fratura bilateral dos calcâneos. Após, as pernas absorvem o impacto, levando a fraturas de joelho, ossos longos e quadril. A seguir o corpo é flexionado, causando fraturas por compressão da coluna lombar e torácica. Já quando a vítima bate primeiramente as mãos resulta em fraturas

bilaterais de rádio e ulna. Nos casos em que a cabeça recebe o primeiro impacto ocorre lesões de crânio e coluna cervical.

Trauma aberto (penetrante)

No trauma penetrante é produzida uma cavidade permanente pela passagem de um objeto através do corpo. A cavitação é o resultado da troca de energia entre o objeto em movimento e os tecidos. A extensão da cavitação, ou a troca de energia é proporcional à superfície da área do ponto de impacto, à densidade dos tecidos atingidos e à velocidade do objeto no momento do impacto.

As principais causas de trauma penetrante são as lesões por projéteis de arma de fogo (P.A.F.) ou arma branca, contabilizando cerca de 97% dos casos.

Quando um objeto em movimento se depara com um obstáculo, ocorre uma permuta de energia entre eles. Quando esta é concentrada em uma pequena área, ela pode exceder a tensão superficial do tecido e penetrá-lo.

A troca de energia entre objeto em movimento e os tecidos resulta em cavitação. Ela depende da área e forma do míssil, da densidade do tecido e velocidade do projétil no momento do impacto. A área e a forma podem variar a medida em que sofrem desvios (desvio lateral em relação ao eixo vertical ou rotação transversal), além da possibilidade de sofrer fragmentações e produzir os chamados projéteis secundários.

Níveis de Energia

- Baixa energia: correspondem a facas e outros objetos lançados manualmente. Eles causam lesões somente pela sua superfície cortante, gerando poucas lesões secundárias. Portanto, seu trajeto dentro do corpo for conhecido, pode-se prever a maioria das lesões. O sexo do agressor é um dado para se prever este trajeto. Geralmente os agressores produzem lesões acima da lesão de entrada e as agressoras abaixo. Outros dados essenciais são: a posição da vítima e do agressor, o tipo de arma utilizada e a movimentação do objeto dentro do corpo da vítima.

- Média energia: corresponde aos revólveres e alguns rifles.

- Alta energia: rifles militares ou de caça.

O que difere os de média e alta energia é o tamanho da cavitação (temporária e permanente). Algumas armas, além de causar lesões ao longo de seu trajeto, causam lesões ao redor. O vácuo criado pela cavitação, leva fragmentos de roupa, bactérias, etc. para dentro da lesão. A distância também é importante. Quanto maior, menor será a velocidade do projétil, diminuindo as lesões.

Ferimentos de Entrada e Saída

A determinação se um orifício é de entrada ou saída é de suma importância para quem atende uma vítima de ferimento por projétil de arma de fogo. Dois orifícios podem indicar dois ferimentos separados ou podem ser os ferimentos de entrada e saída de um único projétil. Em ambos os casos as informações podem influenciar a identificação das estruturas anatômicas possivelmente lesadas e a conduta a ser tomada.

Geralmente, os orifícios de entrada são lesões ovais ou redondas, cercadas por uma área enegrecida (1 a 2 mm de extensão) devido à queimadura e/ou abrasão do tecido. Dependendo da distância da arma, podemos ter aspectos diferentes. Se muito próximo ou encostado à pele, gases são forçados para dentro do subcutâneo. A explosão deixa uma visível queimadura na pele. Quando ocorre de 10 a 20 cm pode ser visto um pontilhado (tatuagem) devido às partículas de pólvora lançadas em ignição. Estas características podem

variar de acordo com a vestimenta da vítima. Já o ferimento de saída tem um aspecto estrelado, sem as alterações mencionadas acima (fig.06).

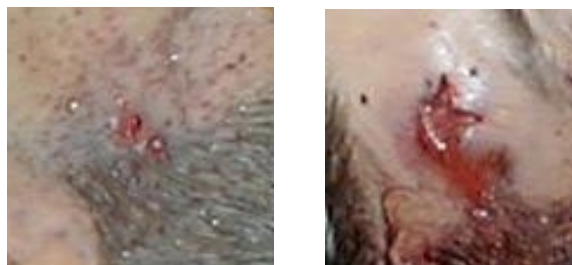


Fig.06: Exemplos de ferimentos por PAF de entrada (E) e saída (D).

Outro importante fator a ser considerado no atendimento a vítimas de P.A.F. é a posição na qual a mesma se encontrava no momento que foi atingida.

Imagine que como no exemplo da figura 07 uma vítima apresente um orifício de entrada na região glútea. Se não soubermos que a mesma foi atingida enquanto pulava um muro não iremos suspeitar das graves lesões pélvicas, abdominais e torácicas que por ventura ela possa vir a apresentar.



Fig.07

Explosões

As explosões podem ser consideradas em separado por terem a capacidade de causar tanto ferimentos contusos como penetrantes, além dos danos causados pelo deslocamento da onda de pressão.

Explosões não são exclusivas dos tempos de guerra. Devido à violência civil, às atividades terroristas e ao transporte e armazenamento de materiais explosivos, as explosões ocorrem de modo rotineiro. Elas resultam da transformação química, extremamente rápida, de volumes relativamente pequenos de materiais sólidos, semi-sólidos, líquidos ou gasosos que rapidamente procuram ocupar volumes maiores. Tais produtos, em rápida expansão, assumem a forma de uma esfera, a qual possui no seu interior uma pressão muito mais alta que a atmosférica. Na sua periferia, se forma uma fina camada de ar comprimido que atua como uma onda de pressão que faz oscilar o meio em que se propaga. A medida em que se afasta do local de detonação, a pressão rapidamente diminui (à 3ª potência da distância). A

fase positiva pode atingir várias atmosferas com duração extremamente curta. A fase negativa é de duração mais longa.

As explosões causam lesões de três tipos (fig.08):

Lesões primárias: resultam diretamente da onda de pressão. Elas têm maior capacidade lesiva para os órgãos que contém gás. As lesões mais comuns são as rupturas do tímpano, contusão, edema e pneumotórax quando atinge os pulmões. Em explosões subaquáticas, os órgãos mais acometidos são os olhos (hemorragias e descolamento de retina) e rupturas intestinais.

Lesões secundárias: resultam de objetos arremessados à distância, que atinge os indivíduos ao redor (ex. granadas).

Lesões terciárias: neste tipo, o próprio indivíduo se transforma em um “míssil” e é arremessado contra um anteparo ou o solo.

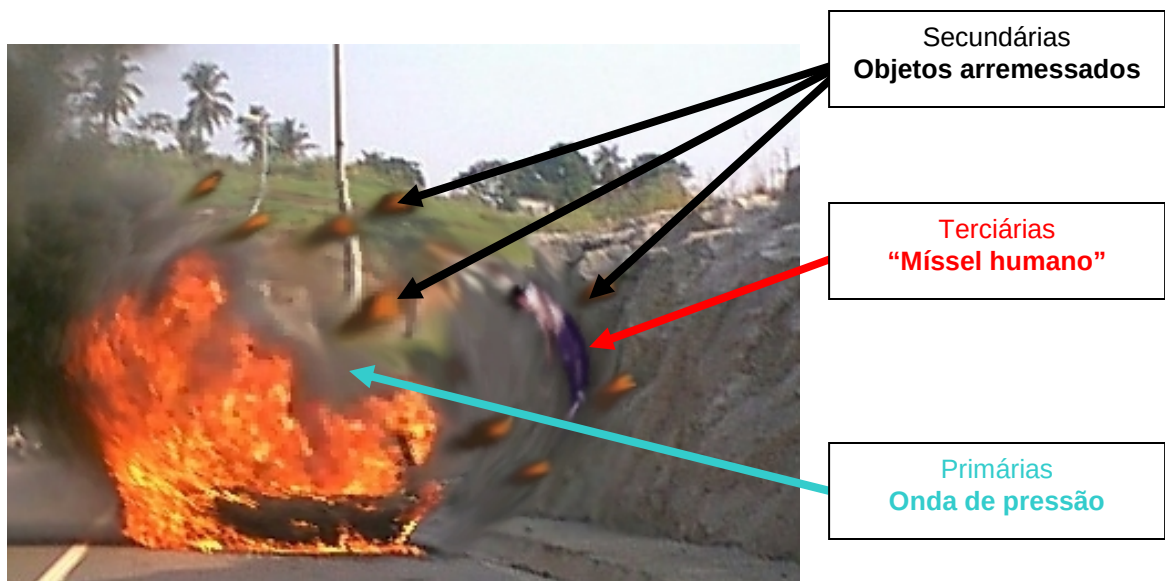


fig.08