

Dr. Záborszky Zoltán o. alez.

Sebesülési ballisztika

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerző ismerteti a különféle lövedékeknek jellemzőit és azok ballisztikai törvényszerűségeit. Tárgyalja a lövedék szövetekre gyakorolt közvetlen és közvetett hatását. Az elmondottakat példákkal, ábrákkal világítja meg.

A lőtt sérülés tanulmányozásához ismernünk kell a különféle fegyverfajták lövedékeinek jellemzőit. A lőtt sérülést meghatározza: a lövedék alakja, súlya, anyaga és sebessége és az áthatolási közeg.

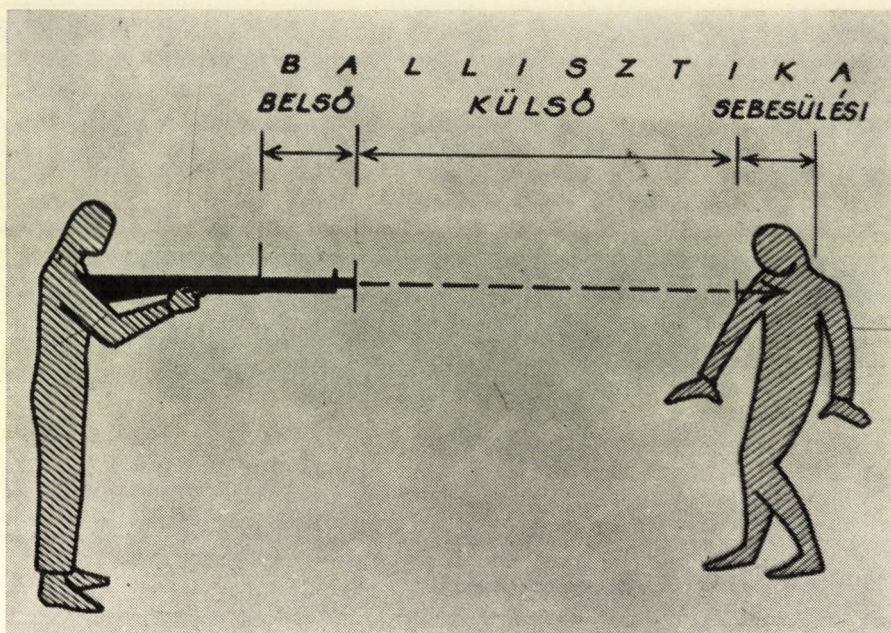
Alak szerint megkülönböztetünk projectilt és szilánkot.

A *projectil* a köpenyes lövedékek kirepülő kúpos fémmagja, hossza, súlya a kilövő fegyverfajtatól függ. A fémmag a nagyobb fajsúlyú belső és a könnyebb fajsúlyú külső fémkupakból áll. A belső mag elhelyezése biztosítja levegőben a *projectil* célszerű súlypontját. A lövedék hegyének kiképzése, külső köpeny célban való szétválása, a sérülés kiterjedését befolyásolja.

A *szilánk* különféle alakú, nagyságú és súlyú fémdarab. Származhat tüzérségi és légi bomba, kézigránát, földi- és légiakna szétrobbant köpenyéből. A sérülést okozó lövedék leglényegesebb jellemzője a *sebesség*, melyet az egy másodperc alatt megtett úttal határozunk meg. Beszélünk kezdő sebességről, a kilövés, illetve a robbanás kezeten és végsebességről, amikor a lövedék a sérülést létrehozza. A lövedék *súlyát* pondban határozzuk meg. *Anyaguk* általában különböző fémötvözet, de tartalmazhat egyéb mérgező *harcanyagokat* is, pl. foszfort.

A *ballisztika* a lövedékek mozgásával foglalkozó tudomány. A *belső ballisztika* a lövedék lőfegyveren belüli mozgását tanulmányozza. A *külső ballisztika* a csőtorkolattól, illetve a robbanás helyétől az érintett tárgyig vizsgálja a lövedék röppályájának viselkedését. A *sebesülési ballisztika* az élő szövetek közötti lövedékmozgást vizsgálja. (1. ábra.)

A köpenyes lövedék a röppálya során hossz tengelye körüli forgó mozgást végez, ennek a forgásnak az a szerepe, hogy a *projectilt* a pályáján stabilizálja. A forgási sebesség a csőtorkolatnál 2000—3000 másodpercenként. A *projectil* a tengely körüli forgás mellett még súlypontja körüli billenő mozgást, alacsonyabb sebességű lövedék esetén bukfencező mozgást is végez. Az axiális iránytól való eltérés a lövedék alakjától, ener-



1. ábra.

giájától, és a forgási sebességtől függ. A tengely körüli forgás következtében a lövedék egy spirálszerű utat tesz meg. Ennek megfelelően a haladás irányában egy rosetta alakú rajzolatot ír le. (2., 3. ábra.) A fentiek alapján a projectil becsapódásakor a felületen történt sérülés nagysága a beesési szög és a hosszanti tengelyeltérés szerint változik. (4. ábra.) Minél nagyobb a hosszanti tengely körüli eltérés, annál nagyobb felületen csapódik az érintkező felszínre. A merőlegesen becsapódó lövedék okozza a legkisebb sérülést. (*Silliphant.*)

A lövedék szövetekre gyakorolt hatása függ:

1. A lövedék tulajdonságától — súly, sebesség, alak, a becsapódás szöge. A lövedék adatainak ismeretében pontosan ki tudjuk számítani, egy adott lövedék energiáját. Minél nagyobb a lövedék tömege és sebessége, annál intenzívebb az ütődés és a roncsolás. Ennek megfelelően a lövedék mozgási energiája

$$= \frac{M \cdot V^2}{2}$$

A képletből is pontosan látható, hogy a mozgási energia nagyságát első sorban a sebesség határozza meg. (*Matheson.*)

2. Az érintett szövet szerkezetétől és fizikai tulajdonságától — sűrűség, víztartalom, összenyomhatóság, rugalmassági együtthatók, rugalmas elemek a külső behatással szemben az egyes szövetféleségek ellenállása különböző. Legkisebb a zsíré, ezt az izom, a bőr és a csont követi. A kisebb ellenállású szövet irányában nagyobb a sérülés kiterjedése. Ezzel magyarázható részben a löcsatorna mentén a tasakok képződése. A testhelyzet,

a szövetekre gyakorolt külső nyomás, a nyugalmi, ellazult, vagy mozgásban levő állapot megváltoztatják az ellenállást. (Moffat, Sreiber.)

3. Az időegység alatt leadott energia mennyiségétől az energia eltűnésének gyorsasága egyenesen arányos a roncsolás intenzitásával. (Livingston.)

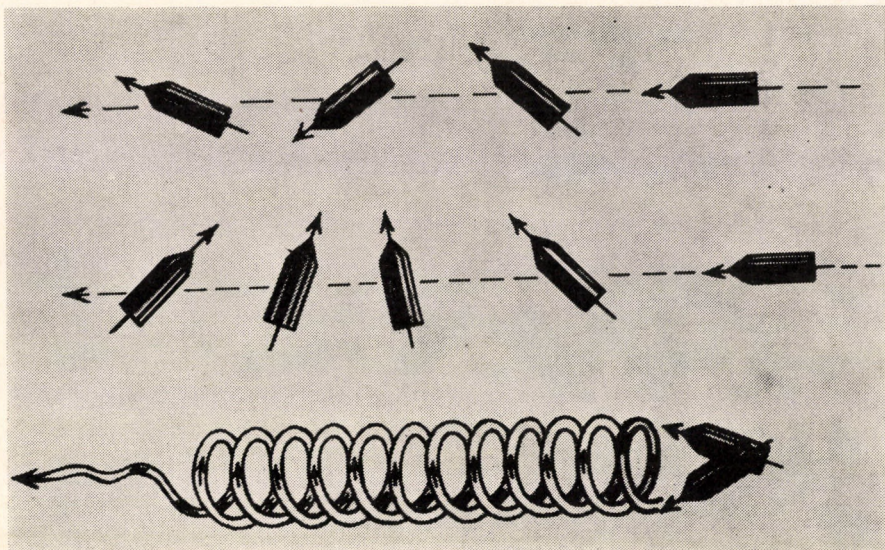
Ha pl. a mozgó test energiája $1/10\,000$ sec alatt tűnik el, így a roncsolás tízszer akkora, mintha $1/1000$ sec alatt tűnt volna el. Ezért roncsolódik robbanóhatásszerűen pl. a combcsont diaphysise, mert a vastag csont ellenálló szerkezetében a lövedék energiája igen gyorsan tűnik el. A lövedék időegység alatt eltűnt energiamennyiség gyorsasága az amoltizáció. Az amoltizáció gyorsasága a szöveti roncsolásban sokszor jelentősebb, mint a lövedék nagysága, súlya és sebessége.

A szövetek ellenállásának vizsgálatakor a mozgási energián kívül tekintetbe vesszük:

a) A lövedék útjában levő szövetek változó minőségi állandóit. A sűrűség nem változik lényegesen a különböző szövetekben és elsősorban a functionális állapotukkal függ össze — izom, feszülés, -ernyedés; telt vagy üres gyomor; systoleban, vagy diastoleban levő szív. Minél nagyobb a szövetek viszkozitása, annál nagyobb a lövedékkel szembeni ellenállás.

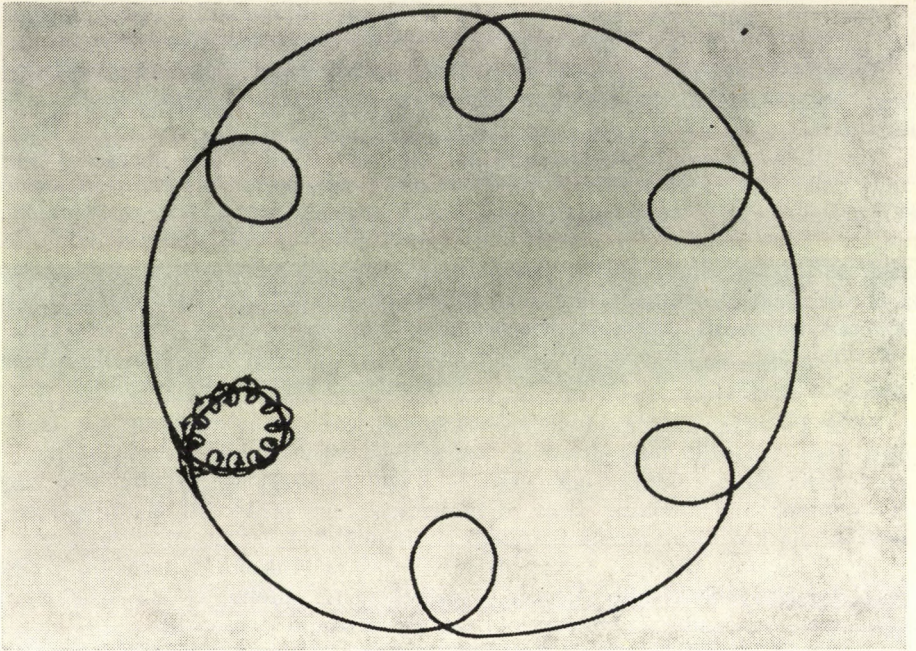
b) A lövedék alakja. A szöveti ellenállás szilánkoknál nagyobb, köpelyes lövedékekénél kisebb. Légtartó szervben az ellenállás 800-szor kevesebb, mint a folyadéké. Legnagyobb az amoltizáció a csontban.

c) Az ütdési felület minél nagyobb, annál nagyobb a szövetek ellenállása, gyorsabb az amoltizáció és így jelentős a roncsolás. Ez könnyen bizonyítható, ha vízfelületre tenyérrel, vagy kézzel ütünk, más-más lesz az ütdési felület nagysága és az ezzel szembeni ellenállás. Ha a szilánk lap-



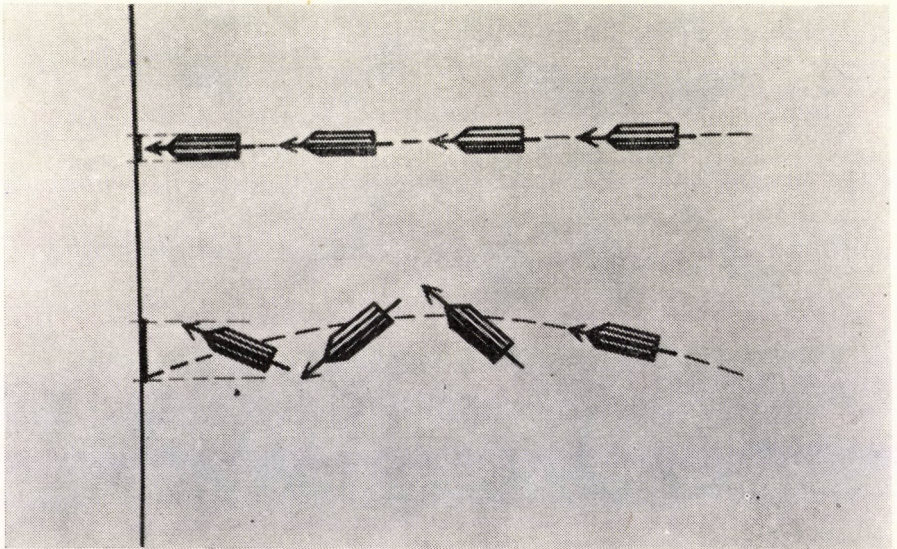
2. ábra.

A projectil röppályáján súlypontja körül billenő, esetleg bukfencelő mozgást végez. Ezért a lövedék hegye egy spirálpályán halad, mely egy rosetta-rajzolatnak felel meg.



3. ábra.

A tengelye körül forgó lövedék röppályája során rozetta alakú rajzolatot ír le.



4. ábra.

A projectil becsapódásakor a felületen ejtett sérülés nagysága a becsapódási szög és a hosszanti tengelyeltéréstől függ. A merőlegesen becsapódó lövedék okoz legkisebb sérülést.

jával ütődik; nagy a roncsolás, tehát nagy az amoltizáció. Ha éllel érkezik, mélybe hatol, tehát kisebb a roncsolás. A szilánkok azért roncsolnak jobban, mert egyenetlen a felszín, nem forognak, mint a köpenyes lövedékek, ami csökkenti a szövet ellenállását.

d) A *röppálya alakja*; a hossz tengelyben megmaradó köpenyes lövedék kevésbé károsít, mint a visszapattanó, görgő, bukfencelő projectil (lásd ábra.) A tengelye körül 3000/sec forgó lövedékek szöveti ellenállása csekély. Itt a kis be- és kimeneti nyílás a jellemző.

A lövedék a szövetekben közvetlen direct, és közvetett indirect hatást fejt ki. A direct hatást ki kell terjeszteni a bemeneti nyílás körüli „kontakt-gyűrűre”, ahol főleg zsiros fémrészek, közeli lövésnél lőpor, szennyezettség rakódnak le. Ha a lövedék nemcsak forgó mozgást, hanem a hossz tengely mentén ingamozgást is végez, úgy a kontaktgyűrű és a löcsatorna contusió zónája is nagyobb. (Kovaric.)

A *lövedék közvetlen hatására a szövetekben roncsolás, szakadás, szétforgácsolódás* keletkezik. (De Muth.)

Roncsolódáskor a szövetek szerkezeti elemei megsemmisülnek, a sejtek életképtelenné válnak, egy részük a löcsatorna falán tapad, vagy kijut a löcsatorna nyílásain át. A visszamaradt sejtörmelék a lövedék mozgási energiája következtében vérrel, idegen anyaggal, ruhadarabbal keveredik, emulsiót képezve. A löcsatornába levegő is bejut, főleg közeli lövések során. A kimeneti nyílás körüli rugalmas elemek szalagszerű összehúzódása következtében a légbuborékok távozása nehezített, így a bejutott levegő a traumás emphysemat utánozhatja. A roncsolt szövet mennyiség arányos a lövedék energiájával és az energiaeltűnés gyorsaságával. Ezért több pl. szilánksérülésnél.

Szakadás alatt olyan szöveti folytonosság megszakadást értünk, ahol a szerkezeti elemek felismerhetők, egymástól elválasztottak, de életképesek. Ennek oka, a hirtelen képződő szövetközi nyomás, másrészt a szerkezetek közötti fokozott feszülés. Legellenállóbbak a kollogén rugalmas szerkezetek. A szakadást növeli ha a sérült szövet feszített állapotban volt, pl. összehúzódó izom, amely azonos hatással sérülékenyebb.

Szétforgácsolás a szakadás különös esete, direct erőhatásra jön létre, főleg csontokon. A széttöredezett csontrészek sokszor hiány nélkül összerakhatók. A csontban a hasadás az erővonalak mentén történik, a törés nagysága nemcsak fizikai tényezőtől, hanem a csont architektúrájától, az izmok tapadásától, epiphysis vonalaktól függ. A csonttörés formáját befolyásolja a végtag-izomzat sérülésekor fennálló állapota, a végtag helyzete. A csontsérülés nagysága a lövedék mozgási energiájától és a csont minőségétől függ. Ezért lyuktörés a diaphysisen alig fordul elő, gyakrabban a meta- és epiphysiseken. Minél nagyobb a lövedék mozgási energiája, annál kisebb méretűek a letörött szilánkok méretei a bemeneti nyílástól a kimeneti nyílás irányában. Nagy távolságú lövés a combcsontokon pl. már csak háromszög alakú darabot tör ki.

A lövedék közvetett (indirekt) hatása. Az oldalütés

A direkt hatás zónáján kívül van a megrázkódtatás vagy az indirekt hatás zónája. Nagysága néhány mm-től, több cm-ig terjedhet. Itt nincsenek szükségképpen nagy roncsolások, szakadások. Jelentősebb a functiona-

lis keringési és idegi zavar, mely azonban kiterjedt morphologiai elváltozásokat okoz (vérzés, elhalás).

E zóna fizikai jelenségeit elsősorban a *hydrodinamikai* hatás okozza, mely a szövetek nagy vértartalmával, folyadéktartalmával függ össze. A folyadékkal, vérrel telt szövetekben a hydrodinamikai hatás a robbanáshoz hasonlít. A robbantó hatás a szövetek bizonyos állapotában fokozódik pl. működő izom, diastolében levő szív. Az izomfeszülés és a vérteltség foka egyenes arányban van a robbantó hatással. A lövedék irányába minél nagyobb egy szerv tömege, annál nagyobb a hydrodinamikai hatás. A légtartó szervekben az aerodynamikai hatás már lényegesen kisebb. (Tüdő, üres bél.) (*Garzoni.*)

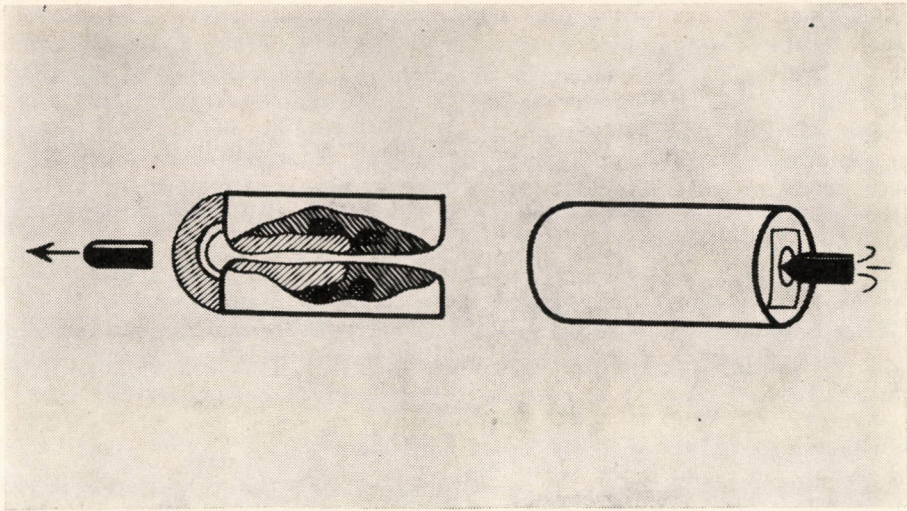
A lövedék hydrodinamikai hatását a másodpercenként 3—4000 sorozat fényképfelvétellel, vagy rtg. felvétellel követni lehet. Kiderült, hogy a löcsatorna a lövedék áthaladásakor kónuszszerűen kiszélesedik. A kónusz alapja a bemeneti nyílás felé néz és a csúcsa a kimenet irányában. Ez a kiszélesedés az ún. „ideiglenes üreg” (*Hopkinson, Marschall*), mely 5—25 mm-rel nagyobb mint a lövési csatornák, és a lövedék áthaladása után bizonyos ideig visszamarad, ha nem is a löcsatorna egész hosszában. Az ideiglenes üreg szélessége nemcsak a lövedék mozgási energiájától, sebességétől, hanem a lövedék ütődési felületétől is függ. Ha a lövedék iránya változik a szövetekben (pl. élével majd alapjával halad) úgy az üreg iránya és nagysága is változik. Az ideiglenes üreg a felvételeken addig követhető, amíg a lövedék mozgási energiája jelentős. Ha ez csökken, de még a szöveteken áthatol, a lövedék maga mögött alig észrevehető rést, szagatott utat hagy, mely léghólyagocskákat tartalmaz.

A lövedék mögött haladása közben negatív nyomás keletkezik, mely légörvényt, szívó hatást fejt ki. Részben ezzel a jelenséggel magyarázható az idegen anyagok bekerülte a külvilágból. Ez modellkísérlettel is igazolható. (5. ábra.)

A lövedék távozása után az ideiglenes üreg kónusza a bemeneti nyílás felé megkisebbedik, lekerekedik, deformálódik, egyenlőtlenül fokozott szélűvé válik. A löcsatornában a lövedék mozgási energiája és a projectil után visszamaradt szívó hatás következtében pulzáló mozgás alakul ki. Néhány pulzáló mozgás után az üreg szivar formát vesz fel. A löcsatorna pulzálását átveszik a felületesebb szövetek is pl. a bőr néhány század másodpercig pulzál. (*Bo Rybeck.*)

Az ideiglenes üreg jelensége szerint a szöveteket nemcsak a lövedék sérti, hanem hatalmas erejű oldalütéseket kapnak, akárcsak robbanáskor. Ahogy a lövedék halad és veszít energiájából, annál kisebb ez a robbantó hatás. Ez a hydrodinamikai ütés a löcsatorna irányához képest oldalazó irányú. (*Hopkinson.*)

A löcsatornában keletkezett ütődés hulláma igen gyorsan terjed a periferia felé, úgy mint a hang a vízben. Az ideiglenes üreg körüli szövetekben tovaterjedő mozgás messze a löcsatornán túl terjed a legkisebb ellenállás irányába és a „határtalan üreg” törvényeinek van alávetve. Nemcsak az egyik részecske adja át a kinetikai energiáját a másiknak, hanem a mozgás révén a részecskék egymáshoz való helyzete is megváltozik. A mozgás a csatorna közelében nagyobb. A lövedék irányába történő szövetmozgást először *Pavlov* írta le, mint elülső ballisztikai hullámot. Ez a hullám parabola alakban halad a lövedék hegye előtt majdnem olyan



5. ábra.

A gelatinhenger mindkét vége más-más színnel van megfestve. A henger átlövésekor a lövedék a gelatinhengerben a hatalmas mozgási energiája miatt üreget képez. Ennek kiterjedését jól követhetjük. A projektil becsapódási felszínéről magával festéket visz be. A lövedék mögött képződött szívóhatás a kimeneti nyílás felől is festéket szív be. A képződött üregben a különféle festékek elhelyezkedéséből elemezhetjük a szívóhatás nagyságát.

sebesen, mint maga a lövedék és lényegesen lassabban tőle távolabb. Pavlov „ütési elméletét”-t az általa feltételezett kónuszos csatorna alakját, a mai hydrodinamikai elmélet és a korszerű vizsgálatok alátámasztották. (Cit. Davidovszkij.)

Oldalütés erejét a kötőszövetes tokban burkolt szervek tokja feltartóztatja, pl. a csont eltörik, de ugyanebben a zónában a nagyerek és idegek nem szakadnak el. Ha a tok alatt folyadék van, pl. subdurális tér, ez az oldalütések erejét tovavezeti (pl. gerincvelőn kívüli sérülés súlyos idegrendszeri elváltozást okozhat).

Az oldalütés ereje növekvő arányban van a lövedék mozgási energiájával, ezért a hatás legnagyobb közeli, nagysebességű lövéseknél. Így létrejöhet csontsérülés, idegsérülés, érkárosodás anélkül, hogy a lövedék közvetlen sértette volna a képleteket. (Egorov, B. G., Petrovskij, B. V.)

Az oldalütés iránya egyenletesen parabola alakban kíséri a lövedéket. A hatás azonban egy-egy szerven belül nem azonos, szerkezeti összetételük változásától függően. Pl. izomsérülés esetén a hullám a fasciák és az izomközi rések között terjed tova, ezt széttépi, ezzel együtt lecsupaszíthatja a nagyobb idegen, érképleteket. Közben azokban megszakadhatnak a rugalmas elemek, idegrostok. A hullám a képletek mentén 20—40 cm hosszan végighaladhat. A szivacsos csontban a hullám a csontgerendák mentén a velőúr felé halad, szétrobbanthatja a csontot. Hogy az ütés mennyire a legkisebb ellenállás irányában halad igazolják azok a leletek, ahol pl. a szivacsos csontállományban a megmaradt csontgerendák körül izületi porc-darabokat, ruhafoszlányokat találtunk. (Elanszkij, Szmirnov.)

Az oldalütés-hullám anatómiai hatása különböző az egyes szövetekben.

Legsúlyosabb a közvetlen contusio környezetében, a periféria felé csökken. Közeleli lövésnél a látható szöveti elváltozás terjedelme a löcsatornának 50—100-szorosa lehet. A contusio zónájában az elváltozások alig különböznek a löcsatornától. Folyadékban és félfolyadékban (gelatina) végzett balisztikai vizsgálatok igazolták, hogy súlyos destructiók elváltozások jönnek létre már akkor, amikor a lövedék a vizsgált objektumtól 2—4 cm távolságra halad el. Callender vizsgálata szerint kecske mellkasának átlövése során az állat azonnal elpusztul, ha a lövedék a szívtől 4 cm távolságra hatolt be. (Davidovszkij.)

Összegezve az oldalütés ereje jelentősebb tényező lehet, mint maga a lövedék által okozott seb. Ugyanakkor a lövedék hydrodinamikai hatásának ereje nemcsak a sérült szerven okoz helyi elváltozást, hanem az egész szervezetben, vagy annak egy részén eredményez jelentős functionalis zavart.

Az ellencsapás, mint távoli közvetett contusio

A sérült szerv perifériájában néha olyan durva anatómiai elváltozás észlelhető, mely a közvetlen contusio zónájára emlékeztet. Az elváltozás magyarázata, hogy a gyorsan mozgó folyadékból szervben az ütődési hullám szilárd alaphoz érkezik, pl. csonthoz, ott a rugalmatlan közeg hatására a mozgás gyorsan amottizálódik, ez okozza a sérülést. Típusos ez agy, üreges szervsérülésnél.

Másodlagos lövedékek

Másodlagos lövedékek azok a különféle idegen és szabad testek, fa, fém, kő, csont porcdarabkák, melyek a sérülés pillanatában önállóan mozgásba jönnek, újabb sérüléseket okoznak. Legjelentősebb a lövedék által leszakított csontszilánkok. Ezek a legkülönbébb irányban haladnak, vagy követik a lövedék irányát. Első esetben további melléksérüléseket okoznak. Kiseb másodlagos lövedékek a löcsatornában vagy a contusió zónában maradnak. Nagyobbak rendszerint távolabb helyezkednek el. A másodlagos lövedékek a szöveteket széttéphetik. A nagy contusió hatásuk miatt néha sebcsatornáik jelentősebbek, mint maga az eredeti löcsatorna. A *másodlagos fémlövedék* nem a lövedékből válik le, hanem a lövedék útjában levő fémtárgyból, pl. vaskorlát.

IRODALOM

Bo Rybeck, M. D.: The immediate circulatory response to high-velocity missiles. The J. of Trauma. 1975. — Davidovszkij, I. V.: Ognjesztrelnaja rana cseloveka Moszkva, 1952. — Egorov, B. G. (Red.): Ognjesztrel'nije ranenija i povrezdenija perifericseszkij nervov. — Szmírnov, E. I. (Gl. red.): Opüt szovetszkij medicinü v Velikoj Otecsestvennoj vojna 1941—1945 gg. Tom. 20. Medgiz, Moszkva, 1952. — Elanszkij, N. N. (Red.): Ognjesztrel'nije ranenija i povrezdenija konecsnosztej (Oszlozszenija). — Szmírnov, E. I. (Gl. red.): Opüt szovetszkij medicinü v Velikoj Otecsestvennoj vojna 1941—1945. gg. Tom 16. Medgiz, Moszkva, 1954. — Ganzoni, N.: Schweizerische Sanitätsoffiziere, 1966. — Ganzoni, H.: Die Schussverletzung im Krieg Aktuelle Probleme in der Churgie Bd. 21. Hans Huber Verlag, 1975. — Hopkinson, D. A., Marschall, T. K.: Lőtt sérülés.

Br. J. Surg. 1967. — *Kovacic, J. J.*: Arch. Surg. 1969. — *Livingstone, R. H.*: British Medical Journal. 1975. — *Martinez, D. A.*: Med. Welt. 24. Heft. 1973. — *Matheson, J. M.*: Royal Army Med. Corps. London, 1968—1969. — *Moffat, W. C.*: J. Royal Army Med. Corps. London, 1967. — *Petrovskij, B. V. (Red.)*: Ognestrel'nje ranenija i povrezdenija szoszudov. — *Szmirnov, E. I. (Gl. red.)*: Opit szovetszkaj medicinu v Velikoj Otecsesztvennoj vojna 1941—1945 gg. Tom 19. Medgiz, Moszkva, 1955. — *De Muth, W. E.*: J. of Trauma. 1966., 1974. — *Schweitzer, H.*: Wehrmed. 1968. — *Silliphant, U. M., Beyer, J. C.*: Milit. Med. 1955. 117, 238—246. — *Szmirnov, E. I. Gl. red.*: Enciklopediceszkij szlovar' voennoj medicinu. Tom 1—6. Izd. Med. Lit., Moszkva, 1946—1950.

Dr. **Z. Záborszky**, Oberstltn. des Med. Dienstes:

VERWUNDUNGSBALLISTIK

Verfasser behandelt die verschiedenen charakteristischen Geschosse und deren ballistische Gesetzmässigkeiten. Es werden die durch des Geschoss auf die Gewebe ausgeübten direkten und indirekten. Einwirkungen erörtert. Die Angaben werden durch Beispiele und Figuren erklärt.

Заборски З., подполковник м/с:

РАНЕВАЯ БАЛЛИСТИКА

Автором излагаются характеристики различных снарядов и их баллистические закономерности. Рассматриваются прямое и посредственное воздействия снаряда на ткани. Вышесказанные иллюстрируются примерами, рисунками.

VERMOX

tabletta



Vermox

tabletta

mebendazolom

A Vermox az *Enterobius vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Ascaris lumbricoides*, *Ankylostoma doudenale* és *Necator americanus* fertőzések anthelminthicuma.

KŐBÁNYAI GYÓGYSZERÁRUGYÁR

Budapest