

BALISTICKÉ TRAUMA

Kpt. MUDr. Alexander FERKO, CSc., pplk. MUDr. Jan FOLVARSKÝ
Vojenská lékařská akademie J. E. Purkyně, Hradec Králové
(rektor: plk. doc. MUDr. Svatopluk Býma, CSc.)

Charakteristika balistických poranění

Pojem **balistické trauma** zahrnuje širokou skupinu poranění způsobených projektily, střepinami, tlakovou vlnou nebo jejich vzájemnou kombinací. Zatímco v minulosti byla tato poranění většinou vázána na válečný konflikt, dnes se stále častěji lékař setkává s balistickým traumatem i v *podmínkách mírových* nebo v *podmínkách mimořádných* (terorismus).

Za války je struktura zdravotnických ztrát určována způsoby vedení boje a druhy používaných zbraní a zbraňových systémů. Zatímco ve válečných konfliktech v minulosti (I. a II. světová válka) většinu poranění tvořila poranění projektilová, v konfliktech současných se častěji jedná o poranění střepinová.

střel, min a pum vzrůstá počet zakrytých poranění (blast, crush syndrom);

- širším použitím novodobých zápalných látek se zvyšuje podíl válečných popálenin (10-30 % zdravotnických ztrát);
- zvyšuje se podíl mnohofaktorových poranění (současně poranění, popálení a otrava). Mluvíme o *smíšených (kombinovaných) poraněních - mixtech*. Při použití chemických zbraní hovoříme o *chemických mixtech*, při použití biologických zbraní o *mixtech biologických*.

Kromě toho, že došlo ke změně charakteru poranění, došlo také ke změně distribuce poranění jednotlivých částí těla. V současnosti převažují poranění končetinová, ubylo poranění hlavy a krku a ubylo poranění hrudníku (tab. 2).

Tabulka 1

Příčiny poranění v jednotlivých válečných konfliktech

Konflikt	Střepiny (%)	Projektily (%)	Miny (%)	Ostatní (%)
Vietnam 1966-1967 (Hardaway, 1978)	37	26	11	26
Vietnam 1970 (WDMET, 1970)	45	30	3	22
Falklandy 1982 (Jackson, 1983)	45	32	11	12
Afganistan 1985 (Rautio et al., 1988)	50	38	10	2
Gulf 1991 (Spalding et al., 1991)	72	20	8	-

Mezi charakteristické rysy soudobých zdravotnických ztrát patří:

- zvýšený výskyt střepinových poranění v důsledku širšího použití novodobých druhů munice s řízeným rozkladem na střepiny (tab. 1);
- změna charakteru a závažnosti projektilových poranění v důsledku širokého použití novodobých ručních zbraní (vysokorychlostní mikroráživé projektily);
- v důsledku použití rychlopalných automatických ručních zbraní vzrůstá počet mnohočetných a sdružených poranění;
- působením tlakové vlny při výbuších různých

Tabulka 2

Rozložení poranění jednotlivých částí těla

Konflikt	Hlava/krk (%)	Hrudník (%)	Břicho (%)	HK (%)	DK (%)
Vietnam 1966-1967 (Hardaway, 1978)	24	20	14	40	50
Falklandy 1982 (Jackson, 1983)	14	7	12	27	41
Afganistan 1985 (Rautio et al., 1988)	12	3	12	26	43
Gulf 1991 (Spalding et al., 1991)	6	12	11	44	75

Tyto změny byly ovlivněny:

1. typem zraňujícího agens (projektil - střepina);
2. standardním využíváním ochranných prostředků (vesty a přilby).

Za povšimnutí stojí fakt, že koncem 80. a začátkem 90. let je možné pozorovat vzestupný trend počtu teroristických útoků, zejména ve velkých městských aglomeracích (Los Angeles, Belfast), na Blízkém a Středním východě (Izrael, Palestina). Od roku 1945 proběhlo mnoho ozbrojených konfliktů, ale jenom 25 % mělo charakter konfliktů mezi regulárními ozbrojenými silami. V těchto konfliktech jsou používány různé zbraně od brokovnic

přes krátké automatické zbraně (Uzi) až po výbušniny profesionálně nebo neprofesionálně vyrobené. Tyto konflikty jsou charakteristické velkým počtem raněných - často se jedná o nechráněné náhodně přítomné nevinné osoby. Poranění díky použitým zbraňovým systémům jsou těžká, mnohonásobná a spíše jsou podobná poraněním válečným.

Sběr dat a jejich registrace

Sběr dat týkajících se válečných poranění je v průběhu boje náročný a většinou podceňovaný, protože nevede k bezprostřední záchráně života pacienta. Toto však může vést ke zkreslování informací a k nekompletním záznamům o těchto poraněních. Proto existují opakované snahy standardizovat a sjednotit systém klasifikace a registrace balistických poranění.

Ve Vietnamu ustanovila americká armáda speciální tým pro vytvoření databáze o poraněních a zraňující munici - **The Wound Data and Munitions Effectiveness Team (WDMET)**.

Mezinárodní červený kříž (ICRC) vytvořil skórovací systém pro balistické trauma (3), který byl úspěšně použit v průběhu více konfliktů včetně války v Perském zálivu a osvědčil se (1). Více zpracovaný systém byl vytvořen na základě zkušeností v Severním Irsku - **The British Army's Hostile Action Casualty (HACS)**.

Kromě klasifikovatelných poranění existují poranění, která není možno kategorizovat a zařazovat k projektilovým nebo střepinovým poraněním. Samostatnou skupinu tvoří poranění vzniklá v pancéřovaných bojových vozidlech.

Ranná balistika

Pro ošetřování balistických poranění a správné zhodnocení rozsahu zranění je nutné znát základy balistiky.

Vymezení technických pojmů

Balistika je technická vědní disciplína, která se zabývá pohybem střel a jejich částí. Balistiku dělíme na vnitřní, přechodovou, vnější a **koncovou**.

Koncová balistika analyzuje pohyb střely v cíli. Její součástí je **ranná balistika** (*wound ballistics*), která sleduje zraňující účinek střel na živou tkáň.

Zraňující agens

Střela - projektil

Podle rychlosti, tj. podle typu zbraně, ze které byly vystřeleny, rozdělujeme projektily na **vysokorychlostní** a **nízkorychlostní**. Vysokorychlostní projektily jsou většinou vystřelovány z dlouhých palných zbraní (puška, automatická puška), nízkorychlostní z krátkých ručních zbraní.

Typickým zástupcem nízkorychlostního projektilu je střela ráže 9 mm o hmotnosti 7-8 g. Ústředí rychlost se pohybuje kolem 300-400 m/s a ústředí energie kolem 300-500 kJ.

Typickým zástupcem vysokorychlostního projektilu je střela ráže 5,56 mm o hmotnosti 4,0 g s ústředí rychlostí nad 900 m/s a ústředí energií kolem 3000 kJ.

Používané armádní střelivo musí vyhovovat Ženevské konvenci. V civilních podmínkách (lov, sport) je však používáno střelivo, které způsobuje poškození tkáně charakteru podobného výbušným střelám. Jedná se o střely poloplášťové, střely se střížnou hranou nebo s expanzní dutinou. Poranění těmito střelami má mnohem závažnější charakter.

Střepiny - fragmenty

Střepiny rozdělujeme na primární a sekundární. Primární střepiny tvoří součást obalu nebo obsahu výbušniny a mohou být předtvarované, nebo nepředtvarované. Sekundární fragmenty vznikají z materiálu kolem exploze. Mají různou rychlost, tvar a různou kinetickou energii (kusy dřeva, skla, bloku motoru i části lidské tkáně).

Patologie balistického poranění

Projektil při pronikání cílem vytváří **ranný kanál**. Místo vstupu ranivého agens (RA) do cíle nazýváme **vstřel**, místo výstupu **výstřel**.

Mechanismus poranění

Projektil při pronikání cílem laceruje a rozrušuje tkáň. Kapacitu projektilu vytvářet tuto práci v tkáni vyjadřuje vzorec pro kinetickou energii $E = 1/2 mv^2$.

Množství kinetické energie ovlivňuje rychlost a hmotnost projektilu.

Ani rychlost a ani hmotnost střely však nejsou faktory, které by jednoznačně rozhodovaly o ranivosti projektilu.

Projektily s vysokou rychlostí při průstřelu předávají cílové tkáni jenom část své kinetické energie. Stejně tak projektily s vysokou hmotností a nízkým procentem fragmentace nemusejí způsobit těžké zranění tkáně (4, 5, 6).

Projektil zraňuje tkáň přímým účinkem, tj. lacerací a zhmožděním. Vytváří **permanentní dutinu** neboli **kavitu** (*permanent cavity*).

Projektil zraňuje také i nepřímým mechanismem. Tlakovou vlnou působí radiálně na tkáň kolem ranného kanálu. V tkáni vytváří pulsující **dočasnou dutinu** (*temporary cavity*). Velikost této dutiny, tj. i velikost poranění nepřímým mechanismem, závisí na dvou základních faktorech:

1. předané kinetické energii projektilu;
2. elasticitě zraňované tkáně.

Velikost ranivého účinku je dána **vlastnostmi projektilu a vlastnostmi zraňované tkáně** (densita, elasticita apod.).

Vlastnosti projektilu

O ranivosti projektilu rozhodují tyto základní faktory (6):

1. Deformace projektilu (*mushrooming*) - optimální deformace je ve tvaru houby. Zvětšuje se kontaktní plocha a tím i retardace projektilu.
2. Fragmentace projektilu (sekundární projektily). Jedná se o jeden z nejdůležitějších faktorů.
3. Vyklánění se projektilu z dráhy letu pod určitým úhlem (*yawing*). Čím větší úhel odklonu, tím je větší nestabilita projektilu a tím větší schopnost rotace v tkáni.

Projektil je při letu stabilizován rotací kolem podélné osy, což mu poskytuje stabilitu a přesnost. Při vnikání do tkáně je však destabilizován a začíná se vyklánět z vlastní podélné osy. Kromě toho začíná rotovat kolem svého těžiště a vyklánět se z dráhy letu. Když je ranný kanál dostatečně dlouhý, tak projektil může zrotovat až o 180°. Hlavním důsledkem této rotace je zvětšení kontaktní plochy projektilu s tkání, a tak i zvětšení množství předa-

né kinetické energie. Maximum předané energie je v místě maximální rotace (schéma 1).

Maxima rotace dosáhne většina nefragmentujících projektilů až v hloubce tkáně. Malokaliberní projektily (5,56 mm) začínají rotovat dříve než větší kalibry, jako např. 7,62 mm.

Ranivý účinek projektilu se výrazně zvětšuje při jeho kontaktu s kostí a při kontaktu s jiným tělesem před vstupem do tkáně. Projektil se deformuje a do tkáně proniká už deformovaný a destabilizovaný (ochranná vesta).

Standardní protistřepinová vesta nechrání proti proniknutí vysokorychlostních střel a proti průbojným střelám, jako AP (*armour piercing*), nebo šipkám (*flechette*). Naopak, střela po proniknutí vestou vstupuje do tkáně již deformovaná a zranění jsou závažnější.

Patologická morfologie balistického poranění

Balistická poranění podle vztahu k tělním dutinám rozdělujeme na **pronikající** (*penetrující*) a **nepronikající** (*nepentrující*). U postřelených s ochrannou vestou, u kterých vesta zabránila proniknutí projektilu, je nutno pátrat po známkách tupého poranění plic, jater a sleziny. O poranění pronikajícím mluvíme tehdy, když je porušena celistvost peritonea, pleury, tvrdé mozkové pleny nebo synoviální vrstvy kloubu.

Podle charakteru ranného kanálu rozeznáváme:

1. Postřely (rány tečné tangenciální), u nichž je střelný kanál otevřen navenek.
2. Zástřely - jsou charakterizovány vstřelem a slepě zakončeným ranným kanálem. Projektil nebo střepina uvázly v těle.
3. Průstřely - jsou charakterizovány vstřelem, ranným kanálem a výstřelem.

Z **histopatologického** hlediska můžeme v ranném kanálu rozlišit tři zóny:

- centrálně uložená permanentní kavita (obsahující fragmenty nekrotické tkáně a koagula),
- laterálně od ní je zóna kontuze (extravazáty krve, okrsky neživé tkáně, variabilní část mrtvých myocytů, krvácení mezi svalovými vlákny),
- zóna otřesu (makroskopicky normální, s mikroskopickým nálezem abnormálních myocytů, krvácení mezi svalovými vlákny a otoku buněk).

Centrální zóna nebo permanentní kavita je způsobena přímým účinkem projektilu. Zóna kontuze a otřesu je způsobena nepřímým účinkem prostřednictvím tlakové vlny.

Tkáň s vysokou elasticitou, jako je sval, dokáže ustoupit tlakové vlně způsobené projektillem bez většího poškození. Naopak tkáň, jako játra a slezina mohou být tlakovou vlnou zcela destruovány.

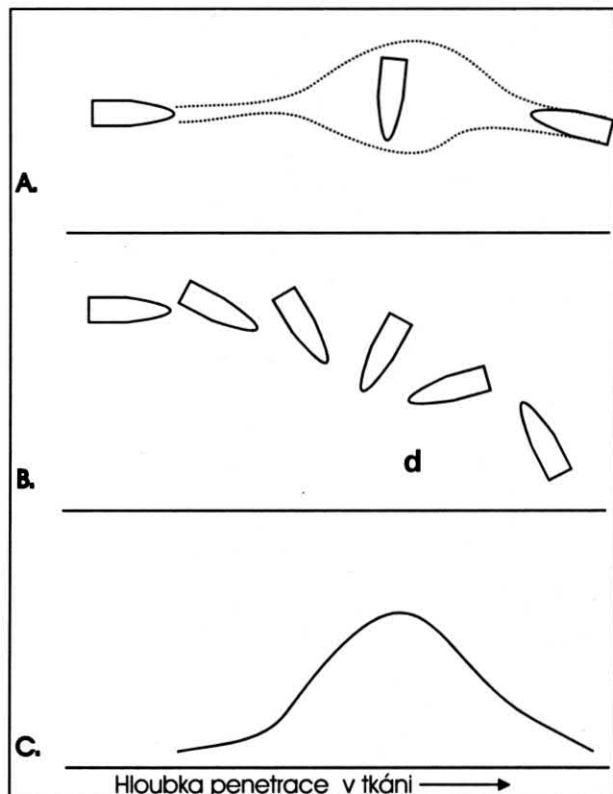


Schéma 1 Zobrazení předání energie tkáni podél střelného kanálu. Permanentní kavita dosahuje svého maximálního průměru (A) v místě maximální rotace projektilu (B). Zde je předáno i maximum energie tkáni.

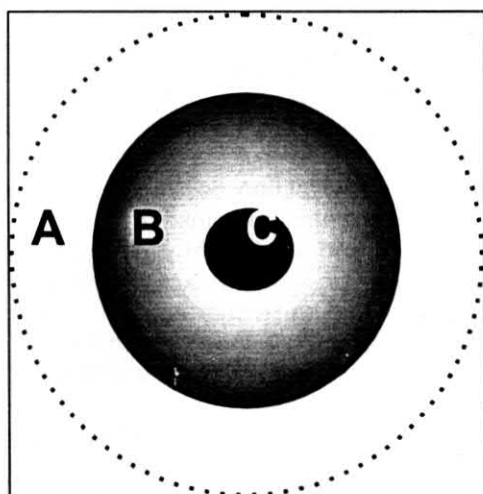


Schéma 2 Zóny poranění tkáně na příčném řezu stělným kanálem: A - zóna otřesu, B - zóna kontuze, C - permanentní kavita

Léčba balistických poranění

Cílem léčby balistických poranění je zabránit smrti pacienta, která může být způsobena:

1. ztrátou krve;
2. poraněním vitálních orgánů;
3. infekčními komplikacemi ran (anaerobní infekce).

Pro přednemocniční a primární nemocniční péči platí všeobecné zásady ošetřování traumatizovaného nemocného. Balistická poranění však mají určitá specifika.

Při ošetřování zraněných v poli za boje je potřeba respektovat prostředí, ve kterém jsou bojové akce vedeny, možnosti a schopnosti zdravotnického personálu. V mírových podmínkách je to hlavně počet zraněných, který modifikuje přístup a rozsah poskytnuté péče.

Při ošetřování balistických poranění by se měla respektovat následující skutečnost:

- ošetřování zraněných na místě s sebou nese riziko poranění zdravotnického personálu obdobným mechanismem;
- penetrující poranění jsou zde mnohem častější než u traumat nebalistických;
- primární ošetření na místě může být limitováno nedostatkem vybavení a materiálu, hlavně u většího počtu raněných;
- primárním cílem léčby je stabilizace a rychlý transport zraněného do prostředí odborné pomoci;
- automatické zbraně a explozivní munice jsou schopné poranit velké množství lidí, hlavně v poli je někdy nemožné poskytnout adekvátní péči **všem** nemocným.

V případě velkého počtu je třeba vytřídit raněné, kteří vyžadují první pomoc a jejichž šance na přežití je vysoká (11).

Primární hodnocení a resuscitace

Pro primární hodnocení (*primary assesment*) je ve světě na většině pracovišť akceptován sofistikovaný systém vypracovaný American College of Surgeons - Advanced Life Trauma Support (ATLS). Pro bojové podmínky byla zpracována jeho verze B-battle (BATLS).

Okamžitě po příjmu, pokud to stav a počet zraněných dovoluje, je nutné odebrat anamnézu a soustředit se na následující body:

- čas vzniku poranění;
- mechanismus (projektil, střepina, blast, oheň, chemické látky);
- předchozí ošetření (intravenózní infuze, analgezie);
- stav zraněného na místě vzniku poranění;
- změna stavu v průběhu transportu;
- poslední jídlo, alergie, léky.

Resuscitace nemocného se řídí podle známého algoritmu:

- A - airways (nezapomenout na C-páteř)
- B - breathing
- C - circulation
- D - disability of neurologic function
- E - environment/evacuation/exposure

Principy chirurgické léčby

Primární kontakt se zraněným by se měl řídit podle doporučených standardů ATLS.

Primární péče o ránu

Rána musí být zakryta sterilním krytím co nejdříve. Když je rána zakryta, je nutno ránu **zbytečně nepřevazovat** až do definitivního ošetření na operačním sále.

Před zakrytím rány, hlavně v polních podmínkách, je vhodné udělat záznam o charakteru poranění, tj. popsat (11):

- závažnost a charakter poranění jednoduchými termíny - lacerace, kontuze, abraze;
- všechny obnažené struktury - kosti, nervy, šlachy;
- stupeň znečištění rány - cizí tělesa, zemina, oděv.

Doporučuje se přiložit kreslené schéma rány nebo fotografii (z polaroidu).

Antibiotika a analgezie

Každé balistické poranění je infikováno. Antibiotika nedokážou ránu sterilizovat, avšak dokážou zmírnit a zpomalit rozvoj infekčních komplikací. Musí být však podány co nejdříve. Některé zdravotnické služby zavedly antibiotika do povinné výbavy vojáka - ve formě GAI. Britská zdravotnická služba např. u poranění kostí povinně aplikuje fluoxacin.

Analgetika mají velký význam hlavně u zraněných při zachování vědomí. Aplikace analgetik mnohdy ulehčuje a někdy i umožňuje:

1. primární ošetření a krytí rány;
2. imobilizaci končetiny a transport raněného.

Aplikace analgetik typu anodyn může být nebezpečná u pacientů s kraniocerebrálním poraněním a s poraněním hrudníku, u nichž může způsobit útlum dechového centra.

Nebezpečí hrozí u šokových stavů v případě intramuskulární aplikace. Intramuskulární aplikace při hypoperfuzi tkání má minimální efekt. Po resuscitaci může dojít k vyplavení analgetika ve větší dávce. Analgetikum může změnit chodícího pacienta v pacienta ležícího.

Fyzikální metody čištění rány

Proplachy a laváže mají význam pro zmenšení fyzikální kontaminace a znečištění rány. K laváži je možno použít fyziologický roztok. Použití antibiotik nebo antiseptik nezlepšuje výsledky a nesnižuje výskyt infekčních komplikací (11).

Chirurgické ošetření rány

Podstata chirurgického ošetření je založená:

1. na dokonalé revizi rány a odstranění všech nekrotických a makroskopicky znečištěných částí tkáně a všech cizích těles;
2. na umožnění hojení rány bez napětí - tj. ránu primárně neuzavírat, použít primárně odloženou suturu.

Debridement

Pojem, který vznikl z francouzského *debrider*, znamená incize a excize nebo odstranění devitalizované nebo infikované tkáně. Tento pojem byl zaveden francouzskými chirurgy Desaultem a Larreyem, avšak běžně se začal užívat až v průběhu I. světové války (11).

Technika incize

Incize by měla být dostatečná, aby bylo možno zrevidovat celou spodinu rány. Devastovaný podkožní tuk a fascii je nutno excidovat a všechny svalové kompartmenty je nutno otevřít. Incize by měly být vedeny v podélné ose svalových vláken a nervů. Vždy je nutné otevřít všechny choboty a ránu je nutno drénovat. U zástřelu by se nemělo v případě nutnosti váhat s kontraincizí (11).

Technika excize

Excize musí být provedena až do zdravé tkáně tak, aby nebyly pochybnosti o její vitalitě. Všechna cizí tělesa a koagula a separované části tkáně musí být odstraněny. Technika excize by se měla řídit podle zásady „4 c“ (11):

- **contraction** - kontrakci svalu vyzkoušet pomo-

ci brandží pinzety;

- **consistency** - konzistence normální, ne voskovitá nebo „vařeného masa“;
- **capillary bleeding** - kapilární krvácení;
- **color** - červená barva, ne hnědá nebo bílá.

Tyto zásady radikálního ošetření je nutné dodržovat zvláště v polních podmínkách.

Za mírových podmínek není vždy nutné být tak radikální, hlavně co se týká excize svalové tkáně. Je to dáno podmínkami a charakterem zranění:

1. jedná se většinou o jednotlivá zranění;
2. poranění je většinou způsobeno krátkou palnou zbraní;
3. pacient se dostane k ošetření v průběhu několika minut a jsou mu včas aplikována antibiotika;
4. ošetřující tým je erudovaný a vybavený možnostmi zobrazení a monitorování pacienta.

Závěr

Ošetřování balistických poranění vyžaduje základní znalosti ranné balistiky. Primární ošetření a přístup k nemocnému jsou závislé na podmínkách, za kterých zranění vzniklo - válka, mír, teroristický útok. Chirurgické ošetření by se mělo řídit zásadou „**treat wound not weapon**“, tj. léčit ránu, a ne zbraň. Úvahy nad tím, jestli projektil měl rychlost vysokou nebo nízkou mohou být na škodu. V praxi to znamená, že chirurg se při ošetřování balistického poranění musí řídit celkovým stavem nemocného, charakterem rány a rozsahem devastace tkáně.

Souhrn

Pojem balistické trauma zahrnuje širokou skupinu poranění způsobených projektily, střepinami, tlakovou vlnou nebo jejich vzájemnou kombinací.

Zatímco v minulosti bylo balistické trauma více méně vázáno na válečný konflikt, v současnosti se s ním setkáváme také za podmínek mírových a za podmínek mimořádných (terorismus). Dostatečná znalost mechanismů poranění tkáně, způsobu primárního, ale i odborného ošetření je nezbytná pro správnou léčbu těchto poraněných. Principy chirurgického ošetření se opírají o zkušenosti z počátku tohoto století. Jsou založeny na odstranění znečištěné a devitalizované tkáně (debridement) a na hojení rány bez napětí (primárně odložená sutura).

Zatímco za polních podmínek a za bojové činnosti je nezbytné tyto zásady striktně dodržovat, za podmínek mírových se strategie léčby může lišit. Je to hlavně díky tomu, že se většinou jedná o jednotlivé pacienty poraněné krátkou palnou zbraní, kteří jsou v průběhu krátkého času transporto-

vání na specializované pracoviště, kde o ně pečují tým specialistů v optimálních podmínkách. Zde není nutný tak radikální přístup, hlavně v rámci lokálního chirurgického ošetření rány.

Literatura

1. BOWYER, GW. - STEWART, MPM. - RYAN, JM.: Gulf war wounds; application of the Red Cross wound classification. *Injury*, 1988, vol. 19, p. 597-600.
2. COOPER, GJ. - RYAN, JM.: Interaction of penetrating missiles with tissues: some common misapprehensions and implications for wound management. *Br. J. Surg.*, 1990, vol. 77, p. 606-610.
3. COUPLAND, RM.: War wounds of limbs. *Surgical management*. Oxford 1993, Butterworth-Heinemann Ltd, 101, p. 100.
4. FACKLER, ML.: Bullet fragmentation. A major cause of tissue disruption. *J. Trauma*, 1984, vol. 24, p. 35-39.
5. FACKLER, ML.: Wound ballistics. A review of common misconceptions. *JAMA*, 1988, vol. 259, p. 2730-2736.
6. FACKLER, ML. - BELLAMY, RF. - MALINOWSKI, JA.: The wound profile: Illustration of the missile-tissue. *J. Trauma*, 1988, vol. 28, Suppl. 1, p. S21-S29.
7. FOSSE, E. - HUSUM, H. - GIANNOU, C.: The Siege of Tripoli 1983: war surgery in Lebanon. *J. Trauma*, 1988, vol. 28, no. 4, p. 660-663.
8. HARDWAY, RH.: Viet Nam wound analysis. *J. Trauma*, 1978, vol. 18, no. 9, p. 635-643.
9. JACKSON, DS., et al.: The Falklands war: army field surgical experience. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 1983, vol. 65, p. 281-285.
10. RAUTIO, J. - PAAVOLAINEN, P.: Afghan war wounded: experience with 200 cases. *J. Trauma*, 1988, vol. 28, no. 4, p. 523-525.
11. RYAN, JM. - RICH, JM.: *Ballistics Trauma. Clinical relevance in peace and war*. London, Arnold, 1997. 287 p.
12. SPALDING, TJW., et al.: Penetrating missile injuries in the Gulf War 1991. *Br. J. Surg.*, 1991, vol. 78, p. 1102-1104.
13. Wound data and munitions effectiveness team. Evaluation of wound data and munitions effectiveness in Vietnam (final report). In Bellamy, RF., Zajchuk, R. *The textbook of military medicine*, vol. 3, pt. 1, Conventional warfare: ballistics, blast and burn injuries. Washington, Office of Surgeon General, US Department of the Army.

Klíčová slova: Střelná poranění; Charakteristika; Principy chirurgické léčby.

Do redakce došlo 1. 12. 1998