



RADIAČNÍ MIXTY
BLAST TRAUMA

Jaroslav DUCHOŇ

1. Definice

V případě, že radiační poškození organismu doprovází další poranění způsobené tlakovou vlnou nebo tepelným zářením, hovoříme, o kombinovaném radiačním poškození - mixtu. Uvedené poškozující faktory výrazně zhoršují prognózu úspěšné léčby nemoci z ozáření a naopak. Tento vztah označujeme jako pravidlo vzájemného přitížení.

Je nezbytné řešit tato kombinovaná poranění komplexně, v úzké spolupráci s dalšími specialisty (chirurg, dermatolog, toxikolog aj.). Ti následně určí časový postup jednotlivých terapeutických postupů a zákroků a zváží jejich únosnost s ohledem na celkový stav postiženého. Je třeba si uvědomit, že léčba ostatních postižení (trauma, popáleniny) má přednost před léčbou deterministických účinků ionizujícího záření.

2. Úvodem

S téměř každodenními sériemi zpráv z téměř celého světa hovořících o výbuších jsme neustále přesvědčeni o tom, že s výbuchy spojenými poraněními se můžeme setkat nejen ve vojenském, ale i v civilním prostředí. Kvůli zvyšující se incidenci poranění spojených s výbuchy má mnoho zdravotníků první velmi draze získanou praktickou zkušenost spojenou s jejich ošetřováním, která vede k pozdějšímu samotnému zkvalitnění péče. Porozumění poraněním způsobeným výbuchem také léta prospívalo díky paralelnímu rozsáhlému výzkumu prováděnému v laboratořích nejen vědci, ale i programátory, kteří se snažili rozšířit naše znalosti o mechanismech poranění a vyvinout mnohem účinnější paradigma pro ošetření hromadného počtu zraněných.

Se zvyšující se incidencí teroristických útoků na celém světě proti nevojenským cílům, bylo poranění spojené s výbuchem určeno jako nové riziko pro civilní populaci a to zejména díky tomu, že civilisté budou v době teroristického útoku zřídka kdy chráněni stejně kvalitně, jako vojenský personál. Poranění vyplývající ze samotného výbuchu se liší v závislosti na výbušného zařízení, typu výbušniny , způsobu, kterým je zařízení vyrobeno, fyzikálním prostředí, které může určit stupeň a typ poranění a citlivost cílové populace na dané poranění. Stalo se zřejmým, že terorismus je hrozbou mnoha tváří. Teroristé mají přístup k výbušninám všech drhů, improvizovaným nosným systémům a projektilům , které mohou učinit riziko z výbuchu mnohem nebezpečnějším. Pravděpodobnost využití výbuchu a vysoké teploty s chemickými, biologickými a radiačními agens za způsobení kombinovaných poranění představuje větší terapeutický problém s jeho potenciálním dopadem a to dokonce i na imunitní systém.

3. Blast trauma

Primární blast

Charakteristika: specifické pro tzv. high-order explo–sives, mající za následek obalení těla vlnou přetlaku. Povrch těla a vnitřní orgány jsou rychle deformovány kvůli tomu, že tělo obsahuje vysoce kompresibilní tkáně (vzduch-obsahující orgány), které podléhají rychlým změnám objemu, mnohdy bez známek zevních poranění (Clemendson 1956), ačkoli se nedávno prokázalo, že zde sxistuje zvýšená pravděpodobnost, že by primární blast mohl způsobit poranění mozku (Belanger at al. 2005; Lew at al. 2006; Okie 2005).

Postižené části těla: struktury naplněné plynem jsou nejcitlivější , protože utrpí největší deformaci—horní cesty dýchací, plíce, gastrointestinální systém a střední ucho. Vnitřní deformace vzduchu obsahujících orgánů způsobuje deformaci sousedních pevných orgánů—srdce, játra, slezina a ledviny. Rozdílné zatížení uvnitř těla, obzvláště vaskulárního systému může způsobit poruchy, které jsou přeneseny do jiných částí těla.

Typy poranění: „blast lung“ (plicní baro–trauma). Ruptury tympanické membrány a poškození středního ucha. Abdominální krvácení a perforace, ruptury oční koule. Otřes mozku (traumatické poranění mozku bez tělesných známek poranění hlavy. Lacerace jater, sleziny a ledvin. Zhmoždění srdce. Ruptury velkých cév. Vzduchová embolie započatá na alveolo-kapilárním rozhraní. Přepětí v krevním řečišti a tlaku, který může vést k poranění tkání v mozku.

Sekundární blast:

Charakteristika: náraz na tělo z létající sutě a střepin bomby. Zdrojem střepin může být zařízení samotné – jeho obal nebo obsah, jako např. kuličková ložiska nebo hřebíky anebo materiál z okolního prostředí, uvnitř kterého zařízení vybuchlo a které může zahrnovat kameny, sklo, cihly, železo nebo dřevo. Poranění způsobená těmito fragmenty mohou být následně kategorizována jako penetrující nebo nepenetrující. Tato skupina zahrnuje majoritní část poranění výbuchem, zejména v otevřených prostorech.

Postižené části těla: Může být poškozena jakákoli část těla. Záleží na rychlosti, hmotě a tvaru dopadajícího objektu.

Typy poranění: jakékoli poranění spojení s dopadem vysokorychlostního tělesa. Tyto režimy nejsou unikátní blastu, nicméně blast poskytuje rozdílné způsoby uvedení těles do pohybu. Penetrující balistické nebo (střepinové) nebo tupé poranění. Penetrující poranění oka (může být skryté), zlomeniny lebečních kostí, atd.

Terciární blast:

Charakteristika: vychází z akcelerace celého těla nebo jeho částí tlakovou vlnou „blast wind“ způsobující přenesené dopady těla o zem nebo o jiné pevně uložené objekty a nebo traumatické amputace částí těla nebo odizolování částí jeho tkáně. Nestejnoměrné působení sil na lidský organizmus.

Postižené části těla: může být poškozena jakákoli část těla. Záleží na vlastnostech povrchu, na který tělo dopadá. Primárně hlava/ krk a končetiny, které mohou být akcelerovány ve vztahu k trupu.

Typy poranění: jakékoli poranění spojené s pohybem celého těla a dopadem. Tyto módy nejsou unikátní pro blast, nicmně blast poskytuje rozdílný způsob akcelerace těla. typická poranění, která mohou nastat po pádech nebo automobilových nehodách. Zlomeniny, zhmožděniny, zavřená a otevřená poranění hlavy, atd. Traumatické amputace, natržení svalů.

Kvartérní blast:

Charakteristika: všechny explozí-zprostředkované poranění nespojené s tlakem nebo efektem „blast wind“. Vysoké teploty. Toxické plyny. Závažnost popálenin se dramaticky liší od exploze k explozi. Rozsah TBSA (Celkové popálené plochy – Total Body Surface Area) je od 9 – 90% (Rosenberg et al. 1982). Setkáváme se zde s povrchovými i hlubokými popáleninami. Incidence, velikost a závažnost vyplývá z rozdílu v charakteru výbuchu a individuálních okolnostech obětí v čase výbuchu. Opět velmi záleží na tom, zdali exploze nastala uvnitř nebo venku, přítomnosti urychlovačů výbuchu, vzdálenosti oběti od výbuchu, přítomnosti oblečení nebo jiných bariér, které leží mezi výbuchem a kůží oběti spolu s jakýmkoli požárem a hořením oblečení oběti nebo okolí v němž se oběť nachází. Mezi faktory zvyšující závažnost kvartérního blastu patří: krátká vzdálenost od výbuchu, výbuch uvnitř objektu, žádné překážky z místa exploze k oběti, hoření, neschopnost uniknout z oblasti, větší hmotnost výbušniny, urychlovače uvnitř nebo poblíž výbušného materiálu, obnažená pokožka. K faktorům snižujícím závažnost naopak patří: Zvyšující se vzdálenost od místa exploze, výbuch ve venkovních prostorech, překážky mezi výbuchem a obětí, menší hmotnost výbušného materiálu, oblečené oběti. Ve srovnávací studii bomb umístěných v autobusech vs. Bombových útoků na otevřených prostranstvích, byla míra úmrtnosti u celkového počtu 204 zraněných u otevřených prostranství 7,8%, kdežto u 93 autobusových bombových útoků se jednalo o 49% zastoupení. V prvním roce operace Iraqi freedom (OIF) zahrnovaly popáleniny přibližně 2% ze všech poranění (Peake 2005). Popáleniny byly typicky běžnější v městských operacích, než v bojích v otevřených prostranstvích (Grau a Jorgensen 1998). OIF vyprodukovala od března roku 2003 do března roku 2005, 390 popálených zraněných. Přes 270 z těchto zraněných bylo popáleno kvůli explozi. Zajímavostí bylo, že incidence poranění primárním blastem byla u těchto pacientů extrémně nízká, když pouze 14% utrpělo rupturu tympanické membrány, 1% mělo poranění plic a nikdo ze zraněných neměl primární blast střev. Částečným problémem bylo popálení rukou, které bylo zastoupeno ve více než 80% u popáleninových poranění výbuchem. Teplota vyvolaná počátečním plamenem při výbuchu může dosáhnout 3000°C. Tyto plameny způsobí popáleniny rozličných velikostí a hloubky, když oběti jsou obvykle ve velmi krátké vzdálenosti od místa výbuchu. Během série bombových útoků ve Spojených státech v 80. a 90. letech mělo 40% obětí nacházejících se na otevřených prostranstvích v blízkosti výbuchu tzv. pipe bombs druhý a třetí stupeň popálenin hlavy, krku, trupu a horních končetin (Karmy-Jones et al. 1994). Navíc k samotným popáleninám zranění v takovéto blízkosti utrpí navíc ještě mnohčenná závažná poranění, jakožto následek ostatních efektů výbuchu, obzvláště pak střepinová poranění. U takto zraněných je vysoká pravděpodobnost úmrtí přímo v místě incidentu, částečně vysvětlující relativní nedostatek popálených pacientů, kteří se dostali do nemocničních zařízení, tak jak to popisují mnohé reporty. Zastoupení hlubokých popálenin vytvořených úvodním plamenem se zvyšovalo se vzrůstající teplotou úvodního plamene, ke kterému došlo, pokud byl přítomen urychlovač (např. Izobutan). Oběti nacházející se poblíž výbuchu utrpěly popáleniny v rozsahu 85,7% TBSA a u 56,7% zraněných se jednalo o hluboké popáleniny.

Třetí mechanismus výbuchem vyvolaných popálenin nastává, když výbuch vyvolá oheň, jenž zasáhne zraněného oblečení nebo okolí zraněného. Ať již okamžitý plamen nebo vyzařující teplo mohou vést ke vzniku požáru, obzvláště pak, pokud výbuch zasáhl snadno vznětlivé materiály (Marshall 1977). Závažnost popálenin způsobených hořením je závislá na teplotě ohně a délce trvání vystavených tkání tomuto teplu. Oběti, které jsou uvězněny nebo nejsou schopny utéci z této oblasti utrpí mnohem závažnější popáleniny nežli ty, které mohly rychle uniknout, protože budou vystaveni ohni po delší čas. Jak by také mohlo být očekáváno, rozsah popálenin způsobených plamenem bude větší, pokud síla vyvolaná výbuchem roztrhá nebo zapálí oblečení. Toto bylo pozorováno u popálenin 19 z 21 úmrtí, které nastaly kvůli teroristickým výbuchům v přeplněných hospodách v Birminghamu (Waterworth a Carr 1975).

Postižené části těla: může být poškozena jakákoli část těla. Povrchy těla, oči. Dýchací systém.

Typy poranění: popáleniny (flash, povrchové nebo hluboké popáleniny). Asfyxie. Poranění incapacitation kvůli inhalaci toxických plynů.

Vedlejší:

Charakteristika: sekundární následky traumatu. Zhoršení nebo komplikace již existujícího stavu.

Postižené části těla: systémová odpověď v důsledku závažného poranění.

Typy poranění: není specifický pro blast. Angina, hyperglykemie a hypertenze. Astma, CHOPN nebo jiné problémy s dýcháním kvůli prachu, kouři nebo toxickým výparům.

4. Pozorovaná poranění po výbuchu

4.1 Model primárního blastu

Blast může způsobit široké spektrum poranění. Jak vzrůstají úrovně výbušnin, vzrůstá závažnost sil působících na tělo. Nicméně pracovní standardy se zaměřují na rozpoznání orgánů nejnápadněji zranitelných a na nastavení přijatelných úrovní menších poranění.

Orgány je možné rozdělit do třech skupin, majících podobné charakteristiky. Vzduch obsahující orgány (larynx, trachea, plíce a gastrointestinální trakt) [formující první skupinu] ukazuje první známky poranění o přibližně té samé intenzitě výbuchu, which is well below které je patrné u jiných skupin. Játra a slezina (Obr. 10-3) spadají do druhé skupiny, kdežto ledviny, slinivka a žlučník tvoří třetí skupinu. Zcela jasně jsou vzduch-obsahující orgány nejzranitelnější a proto vyžadují nejvyšší pozornost pro occupational vystavení. Všechny orgány jsou závažně poraněné podobnou intenzitou výbuchu. Úmrtnost, která je primárně kvůli multiorgánovému selhání, je viděna na té samé úrovni.

4.1.1 Poranění tympanické membrány

Ruptury tympanické membrány jsou u výbuchů časté a jakmile nastanou, dochází taktéž i k vnitřním poraněním. Ačkoli není považováno jako život – ohrožující poranění, může být ruptura tympanické membrány velmi bolestivá a může i nemusí být spojeno se ztrátou sluchu. V polovině 80. Let byla ruptura tympanické membrány záležitostí, která vznášela podezření na vystavení se výbuchu během výcviku nebo v boji. Proto tedy bylo vyvíjeno úsilí pro vytvoření matematického modelu tohoto procesu. Pro modelaci třmínku a membrány byla použita technika „finite element modeling“ (FEM). Síla, která vedla k natržení bubínku byla založena na nezávislých měřeních tkáňových vlastností této struktury. Tento model byl následně ověřen oproti in vitro údajům s cílem ustanovit biomechanicky založené kritérium.

4.1.2 Model poranění Trachey-Laryngu

Úvodní zájem na vytvoření URT poranění, jakožto prekurzoru pro mnohem závažnější vnitřní poranění bylo výzvou pro vytvoření modelu, který by mohl být použit k extrapolaci URT poranění jak u zvířat, tak i u lidí. Výbuch vyvolávající tracheální poranění má mnohdy vzhled pruhů, které odpovídají chrupavkám mezi kostěnými kruhy. V extrémních podmínkách se může projevit jako hemoragická tkáň. (obr. 10-4). Trachea byla pro modelaci vybrána pro svou geometrickou jednoduchost a díky dostupnosti vlastností materiálu z literatury. Zatížení krku výbuchem bylo použito jakožto externí a poranění korelovalo s vrcholem napětí, které bylo vyvíjeno na tkáň. Tento model předpovídá mechanickou odpověď hrtanu a všeobecné tendence poranění korelujícími s napětím ve tkáních.

4.1.3 Model gastrointestinálního poranění

Poranění GIT z důvodu výbuchu se projevuje nejprve jako malé petechie na střevní sliznici rostoucí v prokrváčené oblasti tak, jak intenzita výbuchu vzrůstá a může dosáhnout i k otevřené ruptuře. U ovcí se zranění nejčastěji objevuje v oblasti caeca, ačkoli velké výbuchy vytvářejí zranění v celém průběhu GI traktu (obr. 10-5). Poranění GI traktu, obzvláště ruptury stěny traktu mohou vést k sepsi a úmrtí a mohou komplikovat ošetření dalších poranění, obzvláště pak poranění plic.

Experimenty na králících potvrdily to, že poranění GI traktu byly spojeny se sekcemi GIT, obsahujícími bubliny vzduchu. Bubiny kolabovaly během fáze přetlaku a poté prudce expandovaly. Pokud byla tato bublina blízko stěny traktu, tato rychlá objemová změna vedla k deformaci stěny. Efekt se lišil s velikostí bubliny, fází přetlaku a obsahem GIT. U velkého přetlaku bylo napětí natolik vysoké, že nastala ruptura stěny. Jakmile byl vytvořen mechanismus, byly vyvinuty náhradní modely, umožňující následné studium tohoto fenoménu interakce bublin a střevní stěny. Na tomto základě byl vyvinut matematický model dynamiky bublin a reakci střevní stěny. Model vytvářel tu samou dynamickou odpověď a když byl spojen s vlastnostmi a silou stěny trávicího traktu, byl schopen poskytnout prediktivní model pro poranění GIT výbuchem.

Protože nakonec bylo poranění plic vybráno jako primární nastavení pro limity vystavení se výbuchu nebyl model GIT využit. Nicméně model však předpokládá, že poranění GIT může být u ovcí větší, nežli u lidí, neboť ovce je přežvýkavec s mnohem větším obsahem vzduchu ve střevech. Souhrn počáteční analýzy výbuchu a vytvoření modelu je možné nalézt v publikaci „*Modeling of the Non-Auditory Response to Blast Overpressure: Characterization and Modeling of Thoraco-Abdominal Response to Blast Waves*“

4.1.4 Model poranění plic

I když je známo, že jsou zraňovány všechny orgány obsahující vzduch, lékaři z Walter Reed Army Institute of Research (WRAIR) určili, že poranění plic je největším problémem a mělo by být použito k nastavení standardů expozice. V důsledku tohoto úsilí zaměřeného na porozumění mechanismu poranění plic a vyvinutí prediktivních modelů plic. Většina orgánů lidského těla je naplněných tekutinou, některé jsou naplněny vzduchem, ale plíce jsou komplexní maticí více než 500 milionů malých vzduchových sáčků (neboli alveolů) s desítkami milionů připojení dýchacích cest. Za normálního fyziologického pohybu se tato struktura chová jako jednoduchý balon, který se naplňuje a vyprazdňuje s poklesem tlaku z vnitřku do vnější části, která je mírná a odráží odpor mnoha malých dýchacích cest. Nicméně v rámci rychlého pohybu, způsobeného výbuchem nemůže vzduch dostatečně rychle proudit skrz dýchací cesty a plíce se chová jako nahromadění izolovaných vzduchových bublin-pěna. Pěna má zajímavé fyzikální vlastnosti, že jejich rychlost zvuku (rychlost, u které může být objemová porucha v jedné části materiálu rozšířena do dalších částí) je pouze 30 až 40 m/s—jedna desetina ve srovnání se vzduchem a jedna padesátina ve srovnání s vodou. Tato nízká rychlost zvuku způsobuje drcení a závažné poranění parenchymu plic přímo za pohybující se hrudní stěnou, pokud je rychlost hrudní stěny dostatečně velká. Poranění se projevuje charakteristickými krváceními na povrchu převážně na straně výbuchu ve volném prostoru, ale může zasáhnout celou plíci, pokud byl výbuch v uzavřeném prostoru (obr. 10-6).

Na začátku 80. let začal Jaycor spolupracovat s profesorem Y C Fungem v oddělení bioinženýrství na Kalifornské univerzitě v San Diegu na sbírání dat, které by podpořily vyvinutí modelu poranění plic. Profesor Fung již studoval vlastnosti materiálů plicních tkání. V následujících několika letech on a jeho kolegové ustanovili klíčové dynamické vlastnosti plicní tkáně pod rychlým pohybem spojeným s výbuchem. Potvrdili nízkou rychlost zvuku a určili její kolísání s transpulmonárním tlakem. Tato skupina stanovila souvislost vnitřního plicního tlaku a otoku-zhroucení alveolární stěny. Změřili vlastnosti celé plíce a plicní tkáně a to jak pro malá zvířata, tak i člověka a poukázali na to, že vlastnosti materiálu byly podobné. Model reprodukoval nízkou rychlost vnitřních tlakových vln v plicích, který ukázal na to, že nejvyšší hodnoty tlaku byly lokalizovány na pleurálním povrchu na straně výbuchu, srdce a spinálních výběžků. Tyto pozice jsou podobné plicním kontuzím, pozorovaným u zvířat vystaveným výbuchu.

4.2 Model sekundárního poranění výbuchem

V pracovním prostředí je poranění primárním blastem jediným znepokojením. V bojových podmínkách, kde jsou výbuchy mnohem větší, může být suť/ kamení vymrštěno na vojáky během výbuchu a vést k traumatu nárazem nebo sekundárním poraněním výbuchem.

Testy odkryly spektrum poranění od mírných odřenin kůže po penetrující poranění celé stěny hrudníku.

4.3 Model terciárního poranění výbuchem

Třetí způsob poranění vyplývá celotělové translace způsobené rozdílem tlaku při výbuchu a blast wind. Tyto síly mohou mrštit samotným tělem do přilehlých objektů a způsobit následné terciární poranění. Ačkoli tyto poranění mohou být následkem výbuchu, nejsou jedinečné pro výbuch a byly studovány v mnoha dalších okolnostech.

4.4 Model kombinovaných poranění

4.4.1 Inhalace toxických plynů

K mechanickým poraněním způsobeným výbuchem, výbušniny navíc produkují toxické plyny, které když jsou inhalované, mohou vést k dezorientaci, ztrátě vědomí nebo smrti. Both health hazard and survivability assessments require a means to estimate the probability of these endpoints from exposure to gases generated by blast or the resulting fires. Výbuchy často nastávají v enclosures nebo vozidlech, které mají podpurný hasicí systém. Tyto systémy často obsahují halogenidové sloučeniny, které mohou eliminovat pyrolytický proces a uvolnit plyny do okolní atmosféry. Tyto plyny jsou toxické samy o sobě a mají silný efekt na dýchání. Následně exploze může způsobit sekundární požáry, které uvolní další komplex toxických plynů. Kombinace těchto primárních a sekundárních efektů explozí vedou k an even more komplexu směsí škodlivých plynů, které musí být zváženy k určení incapacitation a úmrtnosti.

5. Efekt výbuchu pod balistickou vestou

Díky tomu, že je americká armáda zapojena v městském a asimetrickém boji, vojáci jsou ve zvýšeném množství vystaveni výbuchům z nevojenských výbušnin. V konfliktech v Afghánistánu a Iráku je téměř 65% všech zraněných z důvodu výbuchu. Kvůli obavám z toho, že by balistická vesta mohla mít nějaký neočekávaný zesilující efekt u poranění z výbuchu, došlo ke spojení Natick Soldier Center (Natick, Mass) s MOMRP, aby vědecky rozhodla o efektu balistické vesty u poranění výbuchem.

MOMRP asistuje při tomto úsilí ve dvou klíčových oblastech.



MVCP