

A ROBBANÁS OKOZTA SÉRÜLÉSEK SAJÁTOSSÁGAI

Dr. Zsíros Lajos orvos alezredes*,

Dr. Hábel Tamás*,

Dr. Iványi János orvos alezredes*,

Dr. Besze Tibor***

A robbanásos sérülések békeidőben viszonylag ritkán, háborús, különösen polgárháborús viszonyok között igen nagy számban jelentkeznek. A pusztító szerkezetek fejlődése, az általuk kiváltott roncsolások azt az igényt vetik fel, hogy a lövési sérülésektől elkülönítve, önálló kórformaként foglalkozzanak velük a sajátos diagnosztikai és terápiás taktika miatt.

A szerzők munkájukat hiánypótlónak szánják, hisz hazánkban orvos generációk nőttek úgy fel, hogy hasonló sérülésekkel nem találkoztak.

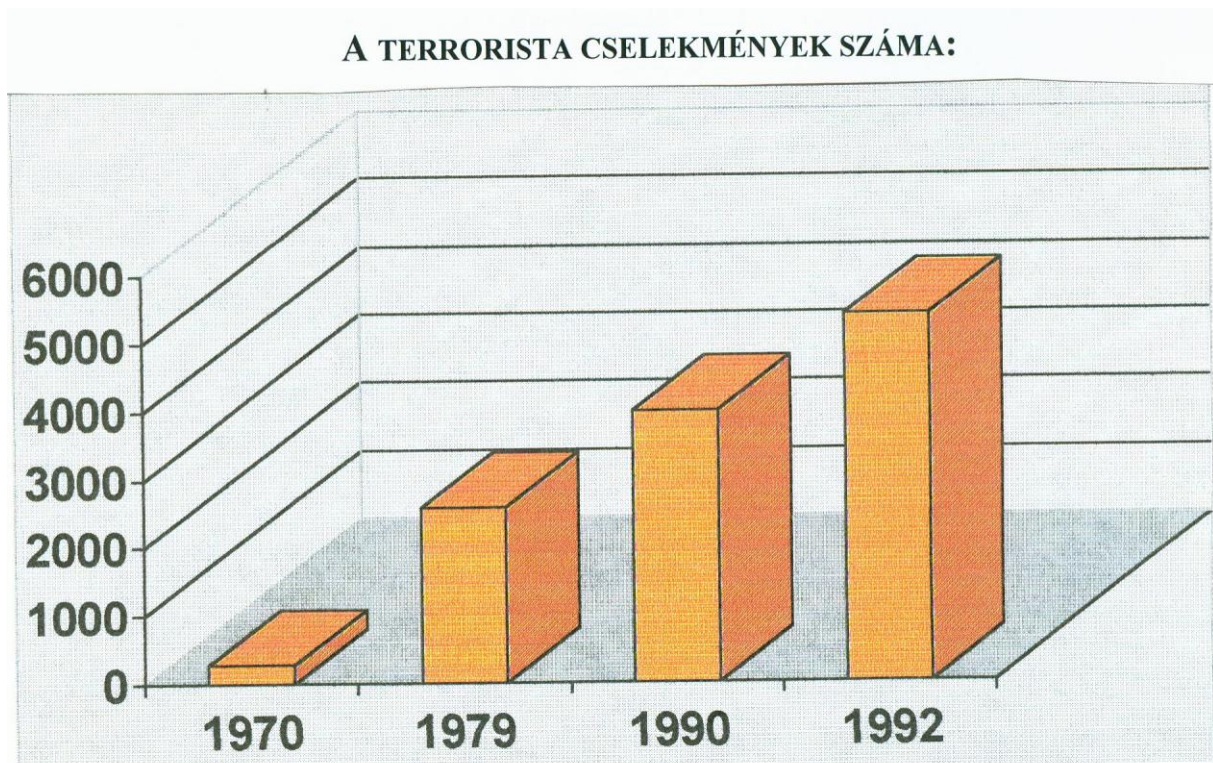
A tanulmányt a robbanás okozta sérülések kórlefolyásának és gyógykezelésének kívánjuk szentelni. A világszerte terjedő nemzetközi terrorizmus a követségek, középületek, nagy bevásárló centrumok, repülőgépek és sportrendezvények ellen irányuló merényletek száma egyre növekszik. Az ilyen egymás közötti és terrorista leszámolások során egyre inkább robbanó anyagokat használnak: A magyar orvosi szakirodalom 1956 óta nem foglalkozott ezzel a témával. Orvos generációk nőttek fel úgy, hogy robbanás okozta sérülésekkel, nem találkoztak, vagy jobb esetben valamilyen posztgraduális képzésben, előadás részleteként, pár mondatot hallottak róla.

Pár évvel ezelőtt a sajtó számára hónapokig téma volt egy-egy robbantásos cselekmény. Ma sajnos szinte napi hírnek számít a robbanóanyaggal

* MH Központi Honvédkórház, Baleseti Sebészeti Osztály

** MH Központi Honvédkórház, Gerincgyógyászat

elkövetett bűneset. A számbeli növekedés mellett az a tendencia is megfigyelhető, hogy ezek a robbantásos fenyegetések a társadalom egészére kiterjedő hatásúak, hiszen a bombariadók nem kímélik sem az oktatást, sem a közlekedést, sem a mindennapi élet egyéb területeit. A terrorista merényletek száma világszerte emelkedő tendenciát mutat (1 ábra).



Ha az európai eseményeket vizsgáljuk, az itt készült statisztikai mutatók sem biztatóbbak. 1988-ban 150, 1993-ban 178 esetet jegyeztek fel és a napi híradások alapján az emelkedés, egyértelműnek tűnik.

A robbanásos sérülések békeidőben viszonylagosan ritkábban voltak, háborús időben, különösen polgárháborús viszonyok között egyre nagyobb számban jelentkeztek. Az utóbbi évtizedek tapasztalatai azt mutatják (Vietnam, Kambodzsa, Afganisztán, Jugoszláviai), hogy a robbanás okozta sérülések aránya a lövéses sérülésekben belül egyre nagyobb. A robbanószerkezetek fejlődése, az általuk kiváltott roncsolások azt az igényt vetik fel, hogy a lövéses sérülésektől elkülönülve önálló kórformaként foglalkozzunk a robbanásos

sérülésekkel. Míg korábban a robbanások következtében kialakult elváltozásokat a katonáorvos tudomány egy csoportban foglalta össze a lövési sérülésekkel, ma egyre inkább önálló kórformaként jelentkeznek, épp a sajátos diagnosztikai és terápiás igény miatt. Az afganisztáni háború orosz tapasztalatait alapul véve megállapíthatjuk, hogy a világ minden tájáról beszerzett több mint 30 fajta, különböző robbanó szerkezet (aknák, gránátok, tüzérségi lövedékek stb.) jelentős, gyakran megoldhatatlan probléma elé állította az ellátó tábori sebészeket. A helyi háborús tapasztalatokat véve megindult a taposóaknák és egyéb robbanó szerkezetek betiltására irányuló mozgalom, amelyet az elmúlt évben siker koronázott. Az ENSZ határozatot hozott az ilyen eszközök betiltásáról. A határozatot több mint 120 ország aláírta, kötelezve magát az ilyen eszközök megsemmisítésére, a gyártás megszüntetésére és a telepített robbanóeszközök felszedésére. Sajátságos az a tény, hogy pont a legnagyobb gyártók (Oroszország, Kína, USA) a betiltó határozatot nem fogadták el, és nem írták alá. Földünk számtalan területén több millió robbanószerkezet szedi áldozatait nap mint nap. Korábban, ebből a tekintetből, a béke szigetének nevezhető hazánkban-terrorista robbantások szedik áldozataikat. A bűnös célú robbantások, merényletek a napi élet problémájává váltak. 53 évvel a II. világháború után még mindig hatalmas területeken találhatóak lőszeres és robbanóanyagok. A környezeti hatások miatt ezek az anyagok sokkal veszélyesebbek lettek, mint a hasonló korú, de ellenőrzött tárolt társaik.

Nobel Alfréd tevékenysége alapján, a múlt század második felétől a kezelés-biztos robbanóanyagok elterjedésével jelentős termelékenység növekedés következett be az építőiparban, a bányászatban, a mezőgazdaságban, az erdészetben. A haditechnikai előrelépés a robbanóanyag-ipart világszerte jelentős iparággá fejlesztette. Hazánkban, a 60-as években jelentős volt a robbanóanyag-gyártó ipar. Bár az utóbbi években a bányászat visszafejlődött, a célirányos robbantások épületek bontásánál, útépitésnél, METRO építésnél jelenleg is megfigyelhetőek. Az élet más területén is felhasználásra kerülhetnek

robbanószerkezetek, robbanóanyagok (fémmegmunkálások, kohászat stb.) Az ipari robbantások következményeként is keletkezhetnek sérülések.

A fentieket összegezve elengedhetetlennek látszik, hogy a magyar orvostársadalom felkészüljön a robbanásos sérülések kezelésére, megismerkedjen, a robbanás okozta patofiziológiai elváltozásokkal és ismerje a gyógykezelés élettani alapjait. Munkánkat ajánljuk valamennyi sérülés ellátással foglalkozó kollégánknak.

A robbantás, mint etiológiai faktor

A robbanáskor lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok megismerése és megértése elengedhetetlen a szervezetben létrejövő elváltozások megítéléséhez. A teljesség igénye nélkül tárgyaljuk a robbanás során lezajló fizikai folyamatokat, kiemelve az emberi szervezetre káros hatásait.

A robbanóanyagok koncentrált energiaforrások. A robbanás során rövid idő alatt szilárd vagy folyékony robbanóanyag nagy hőmérsékletű, és térfogatú gázzá alakul át. A robbanóanyaggal felszabaduló energia kis hányada elegendő a szomszédos molekulák aktivizálására és így bekövetkezik az önmagát gerjesztő láncreakció. Explózió során szén, oxigén, hidrogén és nitrogén szabadul fel, amelyek különböző vegyületekké, de zömében szénmonoxiddá egyesülnek. A robbanási sebesség és a keletkező hő áttevődik ezekre a gázokra, amelyek nyomása óriásivá nő, majd kitágul. A robbanás élő szervezet szempontjából a következő sérüléskiváltó faktorokkal rendelkezik:

1. a robbanási gáz lökési hulláma,
2. a környezeti légnyomás-változás, annak tova-terjedése,
3. a robbanási gáz magas hőmérséklete,
4. a robbanótöltet nagy sebességgel szétrepülő repeszdarabjai,
5. a robbanás által kiváltott másodlagos repeszek (a robbanást körülvevő tereptárgyak, berendezési tárgyak tovasodort, kinetikai energiát nyert darabjai).

A lökési hullám fizikai és biológiai hatásai

A föld felszínén a szabadban történő robbanásakor keletkezett gáztermékek mielőtt kiterjednének, ütést mérnek a levegőre és a talajra egyaránt, pusztító légnyomás formájában. Ezek a nyomáshullámok megrázkódtatják a levegőt és a talajt, az utóbbiba tölcsért vágnak (robbanási tölcsér) és különféle gömb alakban terjedő robbanáshullámokat gerjesztenek, amelyek jelentős pusztítást végeznek. A robbanás centruma körül van az úgynevezett rombolási körzet, amelyen belül a nagy erejű, nagy sebességű és nyomású gázok mindent elpusztítanak. E nyomáshullámokhoz csatlakozik a gázok kiterjedése, amely szintén mozgási energiát közvetít a levegővel. A nyomás hullámok a robbanótöltet mennyiségétől függően, a detonáció helyétől bizonyos távolságban átalakulnak úgynevezett lökés-vagy más néven dőrej-hullámokká, mert a robbanásakor keletkező gázok gyors kiterjedése folytán a környező levegővel történő hirtelen ütközésből erős dőrej (detonáció) támad. Ezen hullámok terjedési sebessége kezdetben 6 km/mp és éppen a nagy sebességüktől fogva útjuk során rombolnak, a robbanás helyétől távolodva csökken a sebességük és végül 340 m/sec sebességű periodikus hanghullámokká alakulnak át és a kezdeti nagy nyomásról a hangnyomásnak megfelelő kis nyomássá csökkennek. A robbanási hullám két tényezőbből áll: egy pozitív nyomóhatású és egy negatív szívótényezőbből. A pozitív hullám nagysága függ a robbanás hevességétől és a távolságtól. A negatív hullám mindig kisebb, értelemszerűen sohasem lehet nagyobb, mint a teljes légüres tér, és hosszabb ideig is tart.

Anélkül, hogy a robbanáshullám fizikai sajátosságait mélyebben elemeznénk, az élő szervezet számára két fontos dolgot kell kiemelni:

1. Valamely közegben (levegő, víz) hullámmozgásban haladva előre annak a közegnek a részecskéit nem ragadja magával. Ezek a részecskék csak oszcilláló mozgást végeznek, amely mozgás nem terjed túl a hullám amplitúdóján.

2. A robbanáshullám viselkedése szeszélyes, (amely azt takarja, hogy nem mindenütt egyenletes a rombolás). Ennek magyarázata az, hogy a hullámok megtörnek valamely felületen, a visszavert hullámok interferálódnak. A találkozói hullámok szuperponálódhatnak, felerősödhetnek vagy kiolthatják egymást aszerint, hogy milyen fázisban találkoznak. A robbanáshullám aktív része a keletkezett és kiterjedt gázok hidrosztatikus nyomása, amely minden irányban egyenlő erővel hat. A nyomáshullámot levegőmozgás kíséri, amely a pozitív fázisban a hullám haladási irányával megegyező, negatívban ellenkező irányú. A levegő mozgáshatása (szélhatás) a lökési hullám haladási irányára merőleges helyzetű felületeken érvényesül kifejezettebben, a hullám hatását fokozza. A közönséges robbanóanyagokkal töltött kis-, közepes-és nagyméretű bombák robbanásakor 6-50 kp/cm² nyomás keletkezik. Már 3 kp/cm² légköri nyomástöbbet az ember számára halálos lehet. A nyomás a távolság függvényében rohamosan csökken. A II. világháborús bombázásokat vizsgálva a nagy űrméretű bombák súlyos destrukciós zónája 9-12 méter, 20-25 méteren túl a hatás klinikailag már jelentéktelen, bár falleomlást, ablaktörést előidézhet.

Levegőben bekövetkezett robbanás során a robbanási hullámot a föld felszíne reflektálja, a nyomási hullám összegződik. Ferde becsapódási szögnél is ez a helyzet. Adott távolság sávján belül meghatározott beesési szög mellett a beeső és reflektált nyomáshullám oszlopszerűen egybeolvad. Ez az úgynevezett Mach-féle oszlop. A destrukció közvetlen előtte és mögötte fekvő területekhez képest jelentősen nagyobb. A robbanási hullám lényege a hirtelen nyomásemelekedés, amelyet fokozatos nyomáscsökkenés követ. Ez kb. 1 másodpercig tart, majd a szívóhatás fázisa következik, amely több másodperces tartalmú. A robbanási hullám tárgyakra, ezen belül természetesen személyekre gyakorolt hatása, mint említettük, mindennek előtt hatalmas ütéshez hasonló behatást jelent, amely addig tart, míg a hullám a tárgyat mintegy beburkolja. A károsító hatás, döntően a pozitív fázis időszakában képződik. A robbanási hullám hatása függ a távolságtól, a robbanás magasságától, a beesési szögtől, a

robbanási hullám irányától, a környező tárgyak árnyékoló hatásától és magától a tárgy alakjától. A robbanási hullám, ha a behatás ereje nem haladja túl az anyag elaszticitásának határát, akkor az anyag visszatér eredeti formájára - elasztikus, ha ezen túlterjed plasztikus deformációt idéz elő. A veszélyes nyomáshalmozódás zónája és mértéke a lökéshullám időállandójától, az-az időtartamától függ, maga a robbanótöltet anyaga a nyomásképet nem befolyásolja. Minél hosszabb a primer robbanási hullám lefutási ideje, annál nagyobb területen érvényesül a nyomásösszegződés, az-az a tér annál nagyobb hányadában alakul ki a primer nyomáshullám értékét meghaladó csúcsnyomás. Zárt térben bekövetkező robbanás esetén a túlnyomás a sarkokban a reflexiós hatásoktól függően akár 350 %-os is lehet.

A robbanási hullám biológiai hatása a nagyvárosi bombázások, robbanások tapasztalatai alapján összegződnek. A mechanikai effektusi általában két nagy csoportba sorolhatók, direkt és indirekt sérülések. A direkt sérüléseket a lökési hullám pozitív fázisa hozza létre. A fő patológiás hatás Barcroft, Zuckermann és mások adatai szerint főleg a tüdőszövet roncsolásából áll. Kísérleti állatokon az expozícióhoz közel 1 percen belül exitus jön létre, a szájban, az orrban véres hab jelenik meg, egyéb külső elváltozás nélkül. A következő zónában 24 órán belül halálos kimenetel, ahol a vezető tünet a légszomj volt. Pupilla- és korneareflexek, hallás rendben voltak. A következő alacsonyabb nyomászónában elhelyezett állatok a robbanást túléltek, a szekcióknál a belső szerveken mutatkoztak eltérések. A boncolási lelet a nyomás nagyságától függött. A tüdőben minimális elváltozásoktól a nagy nyomásnál mutatózó súlyos patológiás képig különböző fokú eltérések voltak észlelhetők. Gyakori lelet a súlyos vérzés a felszínen, főleg a bordák vonala mentén. Nagy nyomáskor az egész tüdő hemorrágiás masszává vált, szinte állomány nélküli lett. A robbanás oldalán az elváltozások kifejezettebbek voltak. A légzés során gázcseré zajlik a tüdőben mikroszkopikus mértékben, diffúziós folyamat során. A tüdő mintegy 300 milliónyi parányi zsákot (acinust) tartalmaz. Amikor a

nyomáshullám eléri az emberi testet, egy része reflektálódik, de nagyobb része belép a szervezetbe, és onnan tovább terjed. A mellkasban az acinusokkal is érintkezésbe lép. Ennek során a bennük lévő levegő összepréselődik, megsérülnek, a hólyagocskákat határoló hártyák és a környező érfalak. Ez kezdetben vérzést, később vizenyőt idéz elő. Nagyobb mértékű belső vérzés a tüdőben teljesen leállítja a légzést. A lökéshullám miután áthaladt a testen és a tüdőn, az acinusokban összenyomott gázbuborék expandálni kezd, a nyomást követő szívóhatás hatására a gázbuborékok behatolva a vérerekbe, légembóliát okozhatnak. A hirtelen halált azonban az erekben található légembólusok okozzák, amelyek a szív és az agy ereiben mutathatók ki. 20 kg alatti töltetsúlyoknál kb. 2,7 bar nyomáshatásról kell a tüdősérülésekre számítanunk. Súlyos tüdősérülések 5,5 baros küszöbérték felett fordulnak elő. A tüdősérülések fokozatuk szerint 3 csoportba oszthatóak:

1. kisfokú vérzések a tüdő felszínén,
2. nagyobb, foltszerű vérzések a tüdőállományban,
3. a tüdő részleges vagy teljes hepatizációja.

A kóros elváltozásokat leggyakrabban a tüdő elülső felszínén és a kosztofenikus szinuszban találjuk. A tüdő felszínén lévő kisebb vérzések jellemzően a bordák vonalában helyezkednek el, nagyobb bevérzés esetén pedig a bordák vonalának megfelelően sötétebb vonal húzódik. Könnyebb sérüléseknél a konfluáló vérzések egy-egy nagy hörgő területére terjednek, súlyos esetben azonban összefolynak, és a tüdőállomány hepatizálódik. Súlyos sérülés esetén vért találunk az alveolusokban, a bronchiolusokban, sőt a felső légutakban, tracheában, orrban és a szájban is.

A szívet ért lökéshullám kiváltotta commotio cordis csak ritkán lehet oka a halálnak. A robbanáskor bekövetkező hirtelen halál oka legtöbbször a szív koszorús ereinek aeroembolizmusa.

A sérülések egy része viszonylag nyugodt, a másik része hiperaktív. A legtöbb sérült könnyebb, vagy súlyosabb sokkban van. A mellkasi sérüléseknél mindig megfigyelhető a dispnoe kisebb-nagyobb foka, amely nem állandó jellegű, pár órától pár napig tarthat. Gyakori a szorongás, a légszomj, a köhögés, legtöbbször vércöppéssel. A köhögés napoktól akár hetekig is eltarthat, száraz vagy hurutos típusúvá válva.

A fájdalom állandó tünet. Két fajtája van, amely néha külön, néha együttesen jelentkezik. Az első fajta, váltakozó vagy állandó retrosternalis fájdalom, amely köhögésre fokozódik. A második típus az izomfájás, amely leggyakrabban a bordaközi, néha a hát és a felső hasizmokra is áttér. A fájdalmat a megfelelő izmok defanése is kísérheti. Az izomvédekezés néha egy hétig is fennáll.

A hemopte az esetek legnagyobb részében jelentkezik, amelynek súlyossága egy-két vére köpettől a masszív vérzésig váltakozhat. Tartalma és kezdete is igen váltakozó, gyakran azonnal, máskor 2-5 nappal a sérülés után jelentkezik.

Fizikális vizsgálattal a bázis felett szörcszörejeket, emfizémás kopogtatási hangot észlelünk. Egyoldali sérülés esetén legtöbbször az ép oldalon is kialakul a szörcszöreje. Tompulát, csökkent pectoralis fremitus, gyengült légzés, főleg azoknál a sérülteknél észlelhető, akiknél kifejezett, radiológiailag is kimutatott hemotorax van. A rekeszmozgás gyakran korlátozott, paradox légzés is felléphet. Majdnem minden esetben megfigyelhető a mellkas alsó részének ballotáló mozgása. A kórkép sokszor hasi katasztrófát is utánozhat. A röntgenelváltozások az esetek felében hiányoznak, könnyebb esetekben pleuritishez hasonló röntgen tünetek (csökkent transzparencia, korlátozott rekesz és bordakitérés). Nagyobb vérzések a röntgenen, mint összefolyó, nem foltszerű, változó intenzitású árnyékok jelentkeznek. A ptx és a htx röntgennel könnyen felismerhető. Jellegzetes röntgen tünet sokszor csak a 3-14 nappal a sérülés után jelentkezik, néha interlobalis folyadék, máskor bronchopneumonia formájában.

Az utóbbi években fokozott érdeklődés nyilvánul meg a gyomor és a bélrendszer túlnyomásból eredő sérülései iránt. A lökéshullám ezekben a szervekben és a környező érzékeny szövetekben könnyen vérzéseket idéz elő helyi bélfal gyengülésekkel, amelyek perforációhoz, hasúri fertőzésekhez vezethetnek. Az ilyen sérüléseket igen nehéz diagnosztizálni, a tünetegyüttes a sérülést követő későbbi időben jut érvényre. Sajátságos védekező mechanizmust említ *Kretshmar*, aki robbanás hatására az epiglottis reflektórikus elzáródását írta le.

A medencei szervek robbanási hullám okozta sérüléséről igen kevés adat áll rendelkezésre, bár a szövetek tűrőképességének küszöbértéke ezen a területen is azonos a tüdő esetében tapasztaltakkal.

Az emberi szervezet túlnyomás iránt legérzékenyebb része a fej. a dobhártya átszakadásának átlagosan elfogadott küszöbértéke 0,35 és 0,45 bar nyomásintervallumra tehető. Akik 0,35 bar-nál kisebb túlnyomás hatását szenvedik el, általában fájdalmat éreznek vagy átmeneti halláskárosodást is szenvednek. A legegyszerűbb esetben fülcsengés alakul ki, ez azonban általában másfél napnál nem tart tovább. A jelenség ennek ellenére igen kellemetlen, mivel csökkenti a kommunikációs lehetőségeket. Ha túlnyomás eléri az 1 bar-t a dobhártya átszakadási valószínűsége már 50 %, 2 bar esetében a sérülés 85 %-os valószínűséggel fellép. A dobhártya átszakadása nem életveszélyes sérülés, az esetek többségében magától meg is gyógyul, fő veszélye a középfül fertőzésének lehetősége. Az 1 bar feletti túlnyomások esetén a közép-és belsőfül károsodásának küszöbértéke nem pontosan tisztázott. Az azonban bizonyos, hogy két jellegzetes tényőtől függ. A tényezők első csoportja az egyéni felépítéstől, állapottól függ. Ide tartozik a dobhártya ellenálló képessége, az életkor, a korábbi fülbetegségek, valamint az akusztikus terhelésekkel szembeni egyéni érzékenység. A második tényező a robbanás centrumához viszonyított térbeli elhelyezkedésből adódik. Ilyenek, pl. a csúcshullám nagysága, a nyomásfelfutás meredeksége, a lökéshullám pozitív fázisának időtartama, a

hullámreflexió és az interferencia. Az egyes emberek tűrőképessége és sérülékenysége nagyon eltérő. Ezen kívül nagymértékben változik a fej, illetve a testnek a robbanás pillanatában elfoglalt helyzetétől, de nem hagyhatók ki a környezeti tényezők sem (zárt térben bekövetkezett robbanás, szabadtéri robbanás, tereptárgyak elhelyezkedése stb.) A légnyomás pozitív hatása, a nyomás abszolút nagysága, hirtelen mivolta okozza a hallószervek sérülését. A dobhártya kisebb sérüléseitől a teljes kiszakadásáig, a hallócsontláncolat sérüléséig, a kengyel sublúxiójáig terjedhet. A középfül sérülése nincs arányban a belső fül sérülésével. A robbanás hatásának ellenálló középfül a dobhártyára ható összes energiát közvetítheti a belső fül felé, míg a középfül sérülése csökkenti a robbanásnak a belső fülre gyakorolt hatását. A belső fülben leginkább vérzések, szakadások, majd előrehaladó degeneratív elváltozások keletkeznek. A vestibularis apparatus sérülése is, előfordulhat hónapokig is eltartó szédüléssel, egyensúlyzavarokkal. A robbanás, mint túl erős akusztikai inger is súlyos funkciózavarokat és maradandó elváltozásokat okozhat a belső fülben. Legtöbbször a külső szőrsejtek pusztulását, az ideghámsejtek degenerációját, vérzéseket és elhalásokat tapasztalnak. A hallásromlás középfül komponense általában gyorsan javul, míg a belső fül sérülése végleges maradhat.

A robbanás hatására belső vérzés alakulhat ki az orrüregben, a szájban és a gégefőben is. Ez sem számít súlyos sérülésnek, fellépésére 3 bar nyomáshatár környezetében kell számítani.

A szemnek sérülése általában repesz-hatására következik be és csak ritkán túlnyomásra.

A szem károsodása legtöbbször egy szilárd felülethez vagy tárgyhöz történő nekiütődésnek tulajdonítható. A lökeshullám okozta idegrendszeri kórképek két csoportba sorolhatók:

1. túlnyomóan indirekt úton keletkezett commotios és postcommotiós állapotok (mechanikai sérülések),
2. pszichoreaktív képek.

Ez utóbbi kategóriába sorolhatjuk a test különböző receptorai felől az agykéregbe befutó szupramximális ingertömeg által kiváltott felsőbb idegtevékenységi és emocionális zavarokat. Ezeket már az I. világháború alatt tömegesen észlelték és nálunk a laikus „légnyomás” név alatt vonult be a köztudatba. A tactilis fájdalmi receptorok, továbbá a nagy intenzitású hanginger folytán az akusztikus receptorok felől a kérgi analizátorokhoz befutó ultramaximális ingerületek védőgátlós reakciót idéznek elő. Természetesen a közvetlen életveszély okozta félelmi effektus hatása is jelentősen közrejátszik a patogenezisben. Több szerző is kimutatta, hogy robbanást követően az összes exteroceptor általános gátoltsága észlelhető a korai stádiumban. A diffúz gátlás a továbbiak során fokozatosan regredinál, bizonyos agykérgi területeken teljesen oldódik, más régiókban hosszabb ideig jelen van. A predilekciós terület itt a hallási analizátor, amely szoros kapcsolatban van a második jelzőrendszerbeli működésekkel. Érthető a gátlás hosszabb időzítése, a filogenetikailag fiatal területeken. A fentiekből következik, hogy a tünettán előterében a hallás és beszédfunkciók zavarai állnak. A funkcionális süketnémaság mellett az írásfunkció megtartott. A betegre jellemző, hogy kísérletet sem tesznek a beszédre és kifejezetten iniciativaszegények, hipokinéziás szindrómát mutatnak vegetatív labilitásos jelenségekkel. A fenti formákon kívül előfordulhatnak a hisztériás fogalomkörből jól ismert egyéb működési zavarok: görcsrohamok, paraparézisek, plégiák, állás és járászavar, hiperkinézisek, tremorok, érzészavarok stb. A hisztériánál a második jelzőrendszer gyengése, a subcorticalis folyamatok túlsúlya áll fent, idegrendszeri típusadottságok és szituatív tényezők folytán. Itt más természetű kóroki tényezők vezetnek a kérgi

és kéreg alatti működések átmeneti, hasonló jellegű zavarához. Innen adódik a nagyfokú tüneti hasonlóság.

A végtagok súlyos sérülései akkor következnek be, ha a csúcsnyomás túllépi az igen magas 15 bar-os értéket. Mivel ezek a testrészek nem tartalmaznak gázt (levegőt), alapjában véve összenyomhatatlannak tekinthetőek. A végtagok komoly roncsolódása, amputálódása akkor következik be, ha a nyomás jóval meghaladta a tüdőre vonatkozó küszöbértéket. Tekintettel arra, hogy a nyomás a távolság függvényében drasztikusan csökken, nem elképzelhetetlen, hogy a robbanás közvetlen környezetében tartózkodó személynél a végtag amputálódik, ugyanakkor a tüdő nem szenved maradandó károsodást.

A környezeti légnyomásváltozás és annak tovaterjedése

A környezeti légnyomásváltozás és annak tovaterjedése a robbanás körzetében elhelyezkedő tárgyakkal, személyekkel kinetikai energiát közölve sérülést válthat ki. S gyorsulásból származó sérülések két módon is bekövetkezhetnek. Az első változatnál az áldozatot egy tompa repesz vagy repülő tárgy ütése éri, a másodiknál az áldozat teste a lökeshullám hatásának van kitéve. A test vagy a testrész gyorsulása az áldozat méretének, alakjának, súlyának a lökeshullám paramétereire viszonyított arányától függ. A gyorsulásos sérülések skálája az egyszeri rándulástól az agyvérzésen át a végtagok letépődéséig terjedhet. Az emberi gyorsulással szembeni tűrőképességre pontos küszöbértékek nem állnak rendelkezésre. Kizárólag becslésre, valamint állatkísérletek, hullakísérletek, biomechanikai modellek és sérülést nem okozó humán kísérletek, eredményeire támaszkodhatunk, azokat extrapolálhatjuk. 1989-ben elvégzett kísérletek során a járműiparban használatos próbababuk segítségével kutatták a különböző testrészek gyorsulását a robbanás körzetében. Pontos adatokat kaptak két testrész gyorsulására vonatkozóan és megbecsülhetővé váltak a tűréshatárok. Négy dinamit felrobbanása után 3

méterre található védőöltözettel ellátott bábu sisak nélküli fejének gyorsulása elérte a 291 g-t, míg a védőöltözettel és sisakkal ellátott bábu feje „mindössze” 33 g gyorsulást szenvedett el. A mellkas esetében ez a gyorsulás 25-27 g értéket mutatott. A lassulásból származó sérülések akkor keletkeznek, amikor az áldozat a robbanást követően valamilyen felülethez csapódik. A sérülések skálája ilyenkor a kisebb horzsolásokon és zúzódásokon keresztül, leszakadt belső szervekig, csonttörésekig és súlyos agykárosodásig terjedhet. A gerinc és a gerincvelő ilyen szempontból rendkívül érzékeny, a sérülések hosszan tartó egészségkárosodáshoz, nem ritkán végleges paralízishez vezet. A fenti kísérlet megismétlése lassulási szempontból a következőket eredményezte: 4 kg töltetsúly robbantása 3 méter távolságra, a próbabábu földre zuhanásakor, a fej gyorsulása 390 g (túlélhetetlen). Kisebb érték adódik, ha az áldozat teste puha talajra csapódik, de ilyenkor is komoly sérüléssel kell számolni. Súlyosbító tényezőként jelentkezik az a tény, hogy a gyorsulás és a lassulás igen gyorsan követik egymást, jó esetben is néhány másodpercen belül, így a becsapódott agynak nincs lehetősége semmilyen regenerálódásra.

A robbanási gáz magas hőmérséklete

A robbanáskor keletkező gázok a kezdeti pillanatokban megőrzik a töltet méretét és igen nagy nyomási és hőmérsékleti viszonyok között fejtik ki a roncsolást. Több ezer atmoszféra és 2-4000 °C hőmérséklet a közvetlenül érintkező testrészek letépődését, durva roncsolódását okozzák, a ruházat, a szőrzet gyulladása pedig égések kialakulását eredményezi. A robbanáskor keletkező szénmonoxid behatolva a szövetek közé carboxyhemoglobin kialakulását eredményezi. A robbanás hatásait vizsgálva- az égési sérülések két úton jöhetnek létre: az első a lánghatás, amely a detonációs tűzgolyó által okozott sérülésekhez sorolható, a másik típusú égési sérülés a hosszantartó kontakt égés során keletkező károsodások. Az első esetben a tűzgolyó időtartama általában a másodpercek tört része, az utóbbinál azonban néhány

másodperctől néhány percig is eltarthat az égés. Irodalmi adatok alapján a hirtelen lánghatás vagy a tűzgolyó sugárzó hője ellen a legtöbb esetben a szokásos ruházat is kellő védelmet nyújt, csak a szabadon lévő testfelszíneken figyelhető meg égési sérülés. A kontakt-égések, vagy a robbanás következtében kialakuló tüzek, okozta lánghatások már sokkal komolyabb, akár a test teljes elszenesedéséig is elvezető sérülést válthatnak ki.

Repszhatás okozta sérülések

A robbanó szerkezet burka a robbanás következtében különböző darabokra széthullva, az összes lehetséges irányba szétrepülnek, és az eltalált emberi testbe behatolva áthatoló, érintő, bent-rekedő repeszszérüléseket hoznak létre az érintett testtáj anatómiai és funkcionális károsodását kiváltva. Minél közelebb helyezkedik el a test a robbanás epicentrumához, annál valószínűbb, hogy sokszoros mechanikai sérülésnek lesz kitéve. A távolsággal arányosan csökken a sérülések száma és azok mélysége, súlyossága is. A burok felépítésétől függően is változik a roncsoló hatás. Az acélrepszek hatásos repülési távolsága átlagos átmérőjük nyolcszerezésére, míg az alumíniumból készült burokból származó repeszeknél az a hatásos távolság csak átlagos átmérő kétezer-ötszázszorosa. Repszhatást váltanak ki a másodlagos szilánkok is. Másodlagos szilánkok alatt a robbanás környezetében elhelyezkedő tárgyakból kiszakított vagy tovasodort kinetikai energiát nyert repeszek, melyek tompa áthatoló, bent-rekedő vagy érintő sérüléseket hoznak létre az eltalált áldozat testén. A sérülés kiterjedésének szempontjából fontos megemlíteni azt a tényt, hogy a test milyen távolságra volt a robbanás epicentrumától, valamint azt, hogy a robbanó szerkezet és az eltalált emberi test között milyen környezeti tárgyak, elválasztó akadályok helyezkednek el. Logikus következtetésként levonhatjuk, hogy minél közelebb van a test az epicentrumhoz és minél kisebb a robbanástól elválasztó akadály, annál nagyobb és kiterjedtebb a sérülés.

A fej és a nyak a testfelületnek mindössze 12 %-át, adja. A robbanásos balesetek súlyos sérültjeinél és a halálos áldozatoknál a végzetes kimenete túlnyomó többsége ennek a két testrésznek a számlájára írható. Észak-Írországból a bombamerényletek halálos áldozatainál a halál oka 66 %-ban a fej és a nyak súlyos roncsolódására volt visszavezethető. Nagyon érzékeny és sérülékeny szervek, közé tartozik az agy is, de a repeszhatással szemben a szemek különösen védtelenek. Az átszakadással szembeni ellenállása mindössze fele a bőr felültének. Súlyos sérülések közé tartozik a szaruhártya felszakadása, a látóidegek károsodása, a retina sérülése vagy leválása. Ezek a sérülések már akkor is felléphetnek, ha pl. egy 10 grammos üvegszilánk 15 m/sec-nál is kisebb sebességgel csapódik a szembe. Súlyos károsodások a szem esetében lényegesen kisebb sebességeknél is bekövetkeznek, mint a bőrnél, de ugyanakkor lényegesen hosszabban tartó következményekkel kell számolni.

Repszek becsapódása vagy behatolása a mellkas és a has régiójába katasztrofális következményekkel járhat. A mellkasban érzékeny szervnek számít a szív, a fő-erek, gerincvelő, a légcső, a nyelőcső és a tüdő. A hasüreg területén valamennyi parenchimás szerv (máj, lép, vese) a gerincvelő, a fő-erek és a bélrendszer. Ennek ellenére feltűnő, hogy az Észak-írországi merényletek halálos áldozatainál a halál-ok viszonylag ritkán volt visszavezethető, a mellüregbe, vagy a hasüregbe behatoló szilánkokra.

A repesz okozta végtagsérülések egy része traumás amputációhoz vezethet. Három kéz-vagy lábujj eltávolítása robbanás estében mérsékelt sérülésnek minősül, de a térd feletti amputáció komoly károsodásnak, míg a comb artéria kényszerű átvágása végzetes károsodást jelent. A robbanásos végtagsérülések jelentősen különböznek az úgynevezett tompa traumák, okozta törésektől és egyéb szervek károsodástól. A robbanásos sebek és törések radiológiai képe eltérhet a valóságtól. A hagyományos átnézeti röntgenfelvételek csak a törések típusát mutatják meg, a sérülés azonban ennél sokkal összetettebb. A sebekkel és különösen a csontok fragmentációjával egy

elhalt szöveti keverék jelenik meg, amelyben az idegen anyag és csontfragmentumok, illetve a következményes hematoma is perzisztál. Általában nem egyszeri monotraumával, hanem többszörös, gyakran megszámlálhatatlan repesz sérülésekkel állunk szemben, amelyek közül bármelyik lehet testüregbe hatoló is. A kiterjedt lágyrész-roncsolások, a vérellátástól megfosztott csontfragmentumok, a többszörös csonttörések jóval jelentősebb számban igénylik a sérült végtag eltávolítását, mint az egy adott esetben az átnézeti röntgenfelvétel alapján várható lenne.

Repszsebesség és a sérülésokozó energia

A robbanó testből közvetlenül származó repeszeket primer repesznek nevezzük, sebességük a katonai gyakorlatban elérheti a 2500 m/sec. mértéket, sőt ennél többet is.

Másodlagos (szekunder) repesznek nevezhetők azok a robbanási származékok, amelyeket a detonáció vált ki, de nem voltak részei a töltetnek vagy a bombának. Ilyenek lehetnek az épület elemei vagy a bútorzat szilánkjai. Alakjuk általában szabálytalan, súlyuk a gramm tört részétől néhány tonnáig terjedhet. Ámbár sebességük legtöbbször kicsiny, sérülést kiváltó hatásuk tekintélyes is lehet.

IRODALOM

1. Ashe, W.F.: Experimental human burns. Partial report. Armored Medical Research Laboratory. Fort Knox, Ky
2. Association for the advancement of automotive medicine (AAAM). The Abbreviated Injury Scale-1990. Revision. Des Plaines IL 60018, U.S.A.

3. Bakkep, R.: Comparing the comfort of aralite and wool aramid blend thermal liners for firefighters turnout report submitted to Globe Firefighter Co; Feb. 1990.
4. Carey, M.E; Sacco, W. and Merkler, J.: An analysis of fatal and non-fatal head wounds incurred during combat in Vietnam by U.S. Forces. *Acta Chir. Scan.* 1982. Suppl. 508.
5. Cooper, G. J; Maynard, R.I; N.L; Hill, J.F.: Casualties from terrorist bombings. *The Journal of Trauma* 23: 11
6. Clarke T.D; Gragg, C.D; Sprouffuke, F; Trout, E.M; Zimmerman, M; William, H.: Human head linear and angular accelerations during impact. 6570 th Aerospace Medical Research Laboratory, Holloman Air Force Base, Report No. 710857.
7. Clemedson, C.J; Helstrom, G; Lindgred, S.: The relative tolerance of the head, thorax, and abdomen to blunt trauma. *Annals, New York Academy of Sciences*, 1968, 152: 187-198.
8. Cooper, G, J; Pearce, B. P; Stainer, M. C; Maynard, R. L.: The biomechanical response of the torax to nonpenetrating impact with particular reference to cardiac injurers. *The Journal of Trauma*, 22 (12): 994-1008.
9. Cooper, G, J; Maynard, R. L; Cross, N. L; Hill, J. F.: Casualties from terrorist bombings. *The Journal of Trauma*, 23 (12): 955-967.
10. Coppel, D. L.: Blast injuries to the lungs. *Br. J. Surg*, 1976, 63: 735-737.
11. Goldman, R.: Heat stress in firefighting: The relationship between work, clothing and environment. *Fire Engineering*, May 1990; p. 47.
12. Harmon, J. W; Haluszka, M.: Care of blastinjured casualties with gastrointestinal injuries. *Military medicine*. 1983, 148: 586-588.
13. Hirsch, F. G.: Effects of overpressure on the ear. *Review Annals, New York Academy of Sciences*.
14. Kerr, A. G.: Blast injuries to the ear. *The Practitioner*, 1978, 222: 677-682.

15. Larson, S.J; Sances, A.Jr; Thomas, Daniel J; Channing, Ewing L.: Impact injury of the head and spine. Charles C. Thomas Publisher 1983, Library of Congress Card No. 825867.
16. Mc Aleer, N.: the Body Almanac. Doubleday Company Inc; Garden City. New York. 1985.
17. Occupational Safety and Health Guidance Manual for Hazardous Waste Site activities. National Institute for Occupational safety and Health (NIOSH), Occupational Safety and health administration (OSHA), US. Coast Guard (USCG) and U.S. Environmental Protection Agency (EPA). October 1985.
18. Rosenberg, B. et al.: Burns due to terroristic attacks on civilian populations from 1975 to 1979. Burns, 9: 21-23.
19. Ryan, P.: How to beat the heat at wrk. Canadian occupational Safety. 1990, 28 (4): 3.
20. Roy, D.: Gunshot and bomb blast injuries: A Review of Experience in Belfast journal of The Royal Society of Medicine 1982.
21. Scott, D.R; Brett A; Fletcher, J; Raymond, Pulliam, C.D.R; Morris W; Harris, R.D.: The Beirut terrorist bombing. Perspectives on neurosurgical practice. Neurosurgery 1986, 18, (1): 1.
22. Syndberg: The Danisch Army School of Engineers. Private Communication, August 1989.
23. Stapp, J.P.: Historical review of impact injury and protection research.
24. Stapp, J.P. Trauma caused by impact and blast. Clinical Neurosurgery, 1965, 12: 324-343.
25. Swearingen, J. Mc Fadden, E.B; Carner, J.D; Blethrow, J.G.: Human voluntary tolerance to vertical impact. Aerospace medicine, December 1960.
26. Thompson, A.B.: A proposed new concept for estimating the limit of human tolerance to impact acceleration. Aerospace Medicine. 1962, 1349-1355.

27. Young A.J; Jaeger, J.j; Philips, Y.Y; Yelverton, J.T; Richard, D.R.: The influence of clothing on human intra thoracic pressure during airblast. *Aviation Space Medicine*, 1985, 49-53.
28. Waterworth, T.A; Carr, M.J.T.: Report on injuries sustained by patients treated at the Birmingham General Hospital following the recent bomb Explosions. *British Medical journal* 1975, 2:25. 25-27.
29. White, C:S; Bowen, I.G; Richmond, D.R.: biological tolerance to air blast and related biomedical criteria, USAEC Civil Effects Test Operations Report, CEX-65,4, office of Technical Services, Department of Commerce, Washington, D.C; 1965.
30. The abbreviated Scala 1985 Revision. Committee on Injury scaling, American Association for Automotive Medicine, Arlington Heights, II.60005, U.S.A. 1985.
31. Lukács László: Robbantásos merényletek elkövetésének lehetősége Magyarországon, *Hadtudomány*, 1994/3.
32. Dr. Lukács László: Terrorrobbantás - papírsárkány, vagy reális fenyegetés? *Detektor Plus*, 1996/4.
33. Dr. Lukács László: Levélbomba - a személyre szóló fenyegetés, *Detektor Plus*, 1996/5.
34. Dr. Lukács László: Gondolatok az aknákról a nemzetközi egyezmények és szakmai konferenciák tükrében, *Új Honvédségi Szemle*, 1999/7