

ZRÍNYI MIKLÓS
NEMZETVÉDELMI EGYETEM

Robbanásos sérülések sebészi ellátásának kérdései

Doktori (PhD) értekezés

Dr. Várhelyi Levente orvos alezredes

Tudományos témavezető:

Prof. Dr. Farkas József + ny. orvos vezérőrnagy, DSc
Dr. Koródi Gyula orvos alezredes, PhD

BUDAPEST
2010

Tartalom

1. Bevezetés	4
1.1. A kutatási téma értelmezése.....	4
1.1.1. A kutatási téma tudomány-rendszertani értelmezése	4
1.1.2. A téma helye a Magyar Honvédség egészségügyi ellátási rendszerében.....	5
1.2. A témaválasztás indoklása.....	5
1.3. Kutatási célkitűzések	6
1.4. Kutatási módszerek.....	7
1.5. Az értekezés elméleti és gyakorlati felhasználhatósága	8
1.6. Az értekezés felépítése	8
2. A robbanások sajátosságai, alapfogalmak, a robbanó szerkezetek jellemzői	9
2.1. Rövid történeti áttekintés.....	9
2.2. A kutatási téma alapfogalmai.....	10
2.2.1. A robbanóanyag fogalma.....	10
2.3. A robbanás fizikai alapjai	10
2.3.1. A robbanások fajtái.....	11
2.3.2. Robbanásos túlnyomás (robbanási nyomáshullám, blast overpressure, BOP)	12
2.4. A robbanó szerkezetek rövid áttekintése.....	15
2.4.1. A robbanó anyagok és szerkezetek fajtái.....	15
2.4.1.1. Bombák és pokolgépek, meglepő aknák.....	15
2.4.1.4. Aknák	16
2.4.1.4.1. Gyalogság elleni aknák.....	16
2.4.1.4.2. Harckocsi ill. jármű elleni aknák	17
2.4.1.4.3. Különleges aknák	17
2.4.1.5. Az aknák felépítése.....	17
3. A robbanásos sérültek ellátásában szerzett saját tapasztalatok	18
3.1. Sérültellátás műveleti területen	18
3.1.1. Prehospitális ellátás	18
3.1.1.1. Sérültellátás a helyszínen: ön- és kölcsönös segély	18
3.1.1.2. Sérültellátás a helyszínen: combat medic	19
3.1.1.3. Sérültellátás a helyszínen: MedEvac	19
3.1.2. Hospitális ellátás.....	19
3.1.2.1. Sérültellátás Role 1 és Role 1+ szinten (Kandahar US, PeK H, Kunduz és Fayzabad, D, Maymaneh N).....	20
3.1.2.2. Sérültellátás Role 2 és Role 2+ szinten (MeS D-H).....	20
3.1.2.3. Sérültellátás Role 3 szinten.....	21
3.1.2.4. Sérültellátás Role 4 szinten.....	21
3.1.3. Esetismertetések és ellátási forgatókönyvek.....	21
3.1.4. Robbanás következtében életüket veszítettek vizsgálata	33
3.1.5. Műveleti területen szerzett tapasztalataim összegzése.....	34
3.2. Sérültellátás békeidőben.....	35
3.2.1. Prehospitális ellátás	35
3.2.2. Hospitális ellátás.....	36
3.2.3. Esetismertetések és ellátási forgatókönyvek.....	36
3.2.4. Békeidőben szerzett tapasztalataim összegzése	38
3.2.5. A saját tapasztalataim alapján levont következtetések	38
4. A robbanások élő szervezetre kifejtett hatásai	38

4.1. A robbanásos sérülések jellege	38
4.1.1. A robbanások biológiai hatásai	38
4.1.1.1. Közvetlen biológiai hatások	38
4.1.1.2. Közvetett biológiai hatások	39
4.1.1.3. Robbanások hatásai az ellátás szervezésére.....	39
4.1.2. Robbanásos sérülések a hagyományos hadviselésben	40
4.1.3. Robbanásos sérülések terrortámadások és merényletek során.....	42
4.1.4. A robbanásos sérülések következményeit befolyásoló tényezők.....	42
4.1.5. Különleges körülmények: robbanás harcjárműben.....	43
4.2. Mechanikai és hőhatás, toxikus hatások.....	44
4.3. A robbanásos sérülések felosztása	46
4.3.1. Elsődleges robbanásos sérülések	46
4.3.1.1. A túlnyomás általános hatásai.....	46
4.3.1.2. Szöveti károsodás, gyulladási faktorok	47
4.3.2. Az egyes szervek és szervrendszerek elsődleges sérülései	48
4.3.2.1. Az agy sérülései.....	48
4.3.2.2. A hallószerv sérülései	49
4.3.2.3. A felső légutak sérülései	49
4.3.2.4. A tüdő sérülései	49
4.3.2.5. A szív sérülései	50
4.3.2.6. Hasüregi sérülések	51
4.3.2.7. Vese-sérülések	51
4.3.2.8. A szem sérülései	51
4.3.2.9. Végtagsérülések.....	52
4.3.3. Másodlagos robbanásos sérülések	53
4.3.4. Harmadlagos robbanásos sérülések	54
4.3.5. Negyedleges (kevert) robbanásos sérülések	55
4.3.6. Ötödleges robbanásos sérülések	57
4.3.7. Pszichológiai hatások	57
4.3.8. Speciális körülmények: természeti jelenségek okozta robbanás.....	57
5. A robbanásos sérülések kezelésének alapelvei.....	59
5.1. Speciális szempontok.....	59
5.2. Diagnosztika.....	60
5.2.1. Kórelőzmény	60
5.2.2. Fizikális vizsgálat	60
5.2.3. Laboratóriumi vizsgálat	61
5.2.4. Eszközös vizsgálatok.....	62
5.3. Kezelés.....	63
5.3.1. Prehospitális kezelés	63
5.3.2. Hospitális kezelés	63
5.3.2.1. Sürgősségi osztály	64
5.3.2.2. Műtő	64
5.3.2.3. Mérgezések kezelése	65
5.3.2.4. Gyógyszeres kezelés.....	65
5.3.2.5. További kezelés és megfigyelés	65
5.3.2.6. Speciális szempontok – terhesség.....	66
5.3.3. Damage control.....	66
5.3.3.1. Elsődleges ellátás a Damage Control Surgery szerint.	66
5.3.3.2. Damage control alapelvek	67
5.3.3.3. A sebellátás általános elvei.....	67
5.3.3.4. Halasztott sebzárás	69
5.3.3.5. Hasüregi sérülések ellátása a damage control elvei szerint	69
5.3.3.6. Mellkasi sérülések ellátása a damage control elvei szerint.....	70
5.3.3.7. Végtagsérülések ellátása a damage control elvei szerint	71
5.3.4. Speciális ellátási területek és formák.....	74
5.3.4.1. A kéz sérüléseinek ellátása	74
5.3.4.2. Fel nem robbant eszközök (unexploded ordnance, UXO) okozta sérülések ellátása.....	75

6. Összefoglalás.....	76
6.1. Az elvégzett tudományos tevékenység összegzése.....	76
6.2. Következtetések, új tudományos eredmények, tézisek.....	77
6.3. A robbanásos sérülések ellátásának protokollja.....	78
6.3.1. A prehospitalis ellátás protokollja.....	78
6.3.2. A hospitalis ellátás protokollja.....	78
6.3.2.1. Első szakasz.....	78
6.3.2.2. Második szakasz.....	79
6.3.2.3. Harmadik szakasz.....	80
6.3.2.4. Negyedik szakasz.....	80
6.3.3. Oktatási terv.....	80
6.3.3.1. Szakorvosképzés.....	80
6.3.3.2. Katonaegészségügyi képzés.....	80
6.3.3.3. Kiképzés.....	80
6.4. Ajánlások.....	81
7. Rövidítések és idegen kifejezések jegyzéke	81
8. Függelék	83
8.1. A robbanóanyagok fontosabb fizikai jellemzői.....	83
8.2. Sérültek kimentésére és szállítására használt eszközök műveleti területen	84
8.3. Egyéni védőfelszerelések	84
8.4. Az egészségügyi ellátás szintjei műveleti területen	85
9. Irodalom.....	86
10. Publikációs jegyzék	89
10.1. Publikációk.....	89
10.2. Könyvfejezetek.....	92
11. Köszönetnyilvánítás	92

1. Bevezetés

1.1. A kutatási téma értelmezése

1.1.1. A kutatási téma tudomány-rendszertani értelmezése

A robbanásos sérülések létrejöttének és kezelésének tárgyalásakor a kutatási téma tudomány-rendszertani elhelyezése központi hangsúllyal bír, mely a Magyar Tudományos Akadémia jelenlegi felépítése alapján történik.

A kutatási téma az MTA jelenlegi rendszere alapján interdiszciplínaként határozható meg, mely a társadalomtudományok (történelem, hadtudomány, politikatudomány) és a természettudományok (fizika, kémia, élettan, orvostudomány) kérdéseivel egyaránt foglalkozik.

A robbanásos sérülések kialakulásának fő színtere a háborús illetve harci tevékenység. Így a fegyveres konfliktusok kialakulásának elemzése a történelemtudomány területe (filozófiai és

történelemtudományok), a hadtudomány és a politikatudomány diszciplínák (mindkettő a gazdaság- és jogtudományok része) tárgykörébe tartozik.

A robbanások jellegének, fajtáinak és hatásainak vizsgálata a fizikai és kémiatudományok rendszerébe illeszthető.

A robbanások élettani hatásainak vizsgálata kísérletes szinten a biológiai tudományok körén belül az élettan tudományterület, klinikai szinten az orvosi tudományok, ezen belül az intenzív terápia és a sebészeti típusú szakterületek tárgykörébe tartozik.

A robbanásos sérülések ellátásával kapcsolatos kérdések tárgyalása következményeinek és előfordulásának tekintetében a személyi állomány hadrafoghatóságának befolyásolásával ismételtelen csak a hadtudomány rendszerébe tartozik. Hasonló módon a hadtudomány katonai-műszaki területének köré illeszthető a robbanásos sérülések megelőzése illetve súlyosságuk mértékének csökkentése megfelelő védőfelszerelések kifejlesztése és rendszeresítése által.

A fentiek alapján a kutatási téma legfőképpen az élettudományok területén helyezkedik el, azonban társadalomtudományi vonatkozásai is jelentősek. Fő diszciplína az orvostudományi, ezen belül téma a katonarorvosi kutatások tárgyköréhez tartozik.

1.1.2. A téma helye a Magyar Honvédség egészségügyi ellátási rendszerében

A Magyar Honvédség egészségügyi ellátási rendszerében a robbanásos sérülések ellátása a csapattagozatban és a központi tagozatban egyaránt történik. A csapattagozati elsődleges ellátás az elsősegély és az életfunkciók biztosítása illetve a kiürítés tekintetében elsősorban a külszolgálati katonai missziókban valósul meg (MedEvac, Role-1). Hazai viszonylatban az ellátás a gyors légi vagy földi kiürítést követően a központi tagozatban történik (korábban MH Központi Honvédkórház, jelenleg HM Állami Egészségügyi Központ). Megemlítendő, hogy a fenti intézmény katonai jellegénél fogva a civil lakosság robbanásos sérültjeinek ellátását is végzi, ezen betegek ellátására folyamatos készséget biztosít. A hazai kiürítést elsősorban az Országos Mentőszolgálat végzi. Az ellátás utáni rehabilitáció és a felépülést követően a katonai alkalmasság elbírálása szintén a központi tagozatban történik.

A robbanásos sérültek ellátásának fő színtere a HM ÁEK Sürgősségi Betegellátó Osztálya, Általános Traumatológiai Osztálya, Aneszteziológiai és Intenzív Terápiás Osztálya valamint a Központi Műtő, melyek feladata a sérültek állapotának stabilizálása, a szükséges műtéti beavatkozások elvégzése, az intenzív és baleseti sebészeti osztályos gyógykezelés, a betegek utókezelésével és rehabilitációjával kapcsolatos feladatok koordinálása és a katonai alkalmasság elbírálása.

1.2. A témaválasztás indoklása

Napjainkban a robbanás okozta sérülések száma és jelentősége a helyi háborús konfliktusok és terrortámadások növekvő számának köszönhetően egyre emelkedik. A II. világháború óta Európa területén nem voltak széleskörű háborús cselekmények, de helyi forradalmak, polgárháborúk és etnikai konfliktusok során sok lövési és robbanásos sérülés keletkezett. Legutóbbi és közeli példa erre délszláv régióban zajlott boszniai vagy koszovói háború. A helyi konfliktusok robbanásos sérülések keletkezése tekintetében legnagyobb veszélyforrását a telepített aknáknak jelentik, melyek évtizedekkel a harci cselekmények megszűnte után is szedik áldozataikat. Egyes adatok szerint Bosznia-Hercegovina területén jelenleg is több millió gyalogsági akna vár hatástalanításra. Nyugat-Európában az összehangolt és szervezett robbantásos merényletek végrehajtásával a nemzetközi terrorizmus jelenti a legnagyobb veszélyt, szomorú példa erre a madridi vasút- és a londoni metróröbbszítés. Világviszonylatban robbantásos cselekmények legnagyobb gyakorisággal az iraki és az

afganisztáni műveleti területeken fordulnak elő, ahol időzített pokolgépek vagy öngyilkos merénylők a legülönfélőbb robbanó anyagokat és szerkezeteket hoznak működésbe.

Hazánkban jelenleg, békekörülmények között a robbanásos jelegű sérülések száma szerencsére alacsony. Magyarországon a sérülés keletkezése szerint leggyakoribb az idényjellegű petárdarobbanások okozta kézsérülés valamint a katonai balesetek során bekövetkező kombinált sérülés. Aknabalesetek előfordulása ritkaságszámba megy, de a Magyar Honvédség tüzszerészei igen gyakran hatástalanítanak a II. világháborúból visszamaradt robbanó szerkezeteket. A nagy volumenű építkezések és a metróhálózat bővítése során hasonló robbanó eszközök felszínre kerülése az eddiginél is nagyobb számban várható. Ezen alakulatok személyi állománya robbanásos balesetek szempontjából tehát fokozottan veszélyeztetett. Az ipari jellegű robbanásos sérülések száma az ipari tevékenység utóbbi évtizedben végbement jelentős csökkenésének köszönhetően alacsony. Terrortámadások és robbantások szerencsére hazánkban elvétve fordulnak elő, bár az utóbbi években a szervezett bűnözői csoportok egymás közötti leszámolásra egyre gyakrabban alkalmaznak robbanó szerkezeteket. Sajnálatos módon azonban a nemzetközi terrorizmus kiszélesedésével hazánk is a lehetséges célpontok között szerepel, így elképzelhető, hogy egy esetleges terrorcselekmény következtében nagy számú robbanásos sérült keletkezik. Ennek értelmében a polgári egészségügynek rendelkeznie kell ezen sérültek ellátására való anyagi és személyi képességekkel.

Mindezek mellett a Magyar Honvédség több békefenntartó misszióban vesz részt (pl. Koszovó - KFOR, Afganisztán - ISAF), ahol egységei a legkülönbefélebb robbanó eszközökkel elkövetett támadás célpontjai lehetnek. A harcoló alakulatok egyéni védőfelszerelése és a páncélozott harcjárművek használata miatt a csapatok személyi állománya a lőfegyverekkel elkövetett támadások számára kevésbé hozzáférhető. Utóbbiak száma ily módon kissé visszaszorul. A terrorista és gerillaharc eszközei így egyre inkább a rövid idő alatt tömeges sérülést okozó robbantások, hiszen a cél a lehető legnagyobb pusztítás az előerőben és a harcselejtezőkben. A polgári lakosság ellen elkövetett merényletek további célja a pusztítás mellett a megfélemlítés. A nem reguláris gerillahaderő eszköz és létszám híján nyíltszíni hadmozdulatot nem tud végrehajtani, így a támadás szinte egyetlen módja a robbantás.

A robbanásos sérülések jelentőségét bekövetkezte esetén a sérülés súlyos és összetett volta adja, mely ellátása komplex team-munkát igényel. Meghatározott szakmai elvek szerinti ellátásukra valamennyi baleseti és sürgősségi osztálynak készen kell állnia. Kombinált sérülések ezek, melyek ellátása több szakma képviselőinek bevonásával interdiszciplináris orvosi tevékenység keretein belül történik. Az ellátás szempontjai kissé eltérőek béke- illetve katasztrófa és háborús körülmények között. A békefenntartó missziók egészségügyi személyzetének minden körülmény között felkészültnnek kell lennie robbanásos sérülések ellátására. Mindehhez egyértelmű szakmai irányelvekre, egységes ellátási stratégia meghatározására van szükség. Magyarországon, magyar nyelven az utóbbi ötven évben alig jelent meg írásos publikáció robbanásos sérülésekről és azok ellátásáról. Az általános és szakorvosképzés keretein belül a lövési és robbanásos sérülésekről szóló fejezet a tanfolyamokon alig néhány mondatra korlátozódik, így a fiatal kollégák még elméletben sem szerzik meg az ezek ellátásához szükséges ismereteket.

A fentiek értelmében szükségessé vált egy átfogó szakmai útmutató elkészítése, mely összegzi a szakirodalmi adatokat és azokat saját gyakorlati tapasztalatokkal kibővíve egységes ellátási elveket foglal magába.

A tudományos munka témaválasztása során fő szempont volt számomra annak aktualitása és gyakorlati jelentősége a polgári, de főképpen a katonai egészségügy számára.

1.3. Kutatási célkitűzések

Egységes, gyakorlati szempontból használható szakmai útmutató elkészítéséhez nélkülözhetetlen volt a témakörben rendelkezésre álló elméleti ismeretek összegzése és gyakorlati szempontokkal való kiegészítése valamint a saját esetek kapcsán elért eredményeim alapján levont következtetések közzététele. E tevékenység vezetett a magyarországi gyakorlat számára használható szakmai ajánlás elkészítéséhez. Mindezek értelmében a kutatás céljai a következők voltak:

1. A robbanások típusai és a főbb katonai robbanó eszközök bemutatása.
2. Átfogó ismertetés a robbanások emberi szervezetre kifejtett hatásairól, az egyidejű mechanikai és hőkárosodás jellegéről, az egyes sérülés csoportok bemutatása.
3. A damage control elveinek ismertetése és értelmezése robbanásos sérültek ellátásában.
4. Feladatok meghatározása a helyszínen és a kórházi ellátásban háborús és békekörülmények között. Ellátási sorrend megjelölése: elsődleges a sokktalanítás és az üregi sérülések sebészi ellátása, a végtagsérüléseké ezt követően vagy ezzel egyidejűleg zajlik. Az intenzív osztályos kezelés szerepének meghatározása.
5. Az ellátás taktikai lépéseinek és a sebészeti beavatkozások sorrendjének és jellegének ismertetése saját esetek bemutatásán keresztül.
6. A fentiek valamint műveleti területen szerzett saját tapasztalatok birtokában a robbanásos sérültek kezelésében egységes irányelvek meghatározása és a gyakorlati teendők pontos megfogalmazása, szakmai ellátási protokoll kidolgozása.
7. Javaslattétel az oktatás és az egészségügyi kiképzés ezen irányelveket magában foglaló módosítására.

1.4. Kutatási módszerek

A kutatómunka első lépéseként a tanulmányi és kutatási tervet készítettem el, melyet annak folyamatos és lépésenkénti végrehajtása követett.

A kutatási és forráslehetőségek felmérése után a kutatómunka során folyamatos konzultációt folytattam az érintett társ-szakterületek (anestheziológia-intenzív terápia, általános sebészet) és katonai szakterületek (robbanó anyagok szakértői) képviselőivel.

A szakkönyvtárak anyagában található irodalmi adatok megszerzését és elemzését illetve a legfrissebb adatok és közlemények felkutatását az internet segítségével tervszerűen folytattam és folytatom jelenleg is.

Külföldi kollégák tapasztalatait elemeztem és elért eredményeiket figyelemmel kísértem, a témában nemzetközi kongresszusokon rendszeresen részt vettem és előadásokat tartottam.

Az MH Központi Honvédkórház Baleseti Sebészeti Osztályán rendelkezésre álló korábbi anyag feldolgozásában idősebb és tapasztalt kollégáim voltak segítségemre.

Saját beteganyagom szerzett tapasztalataimat feldolgoztam, dokumentáltam és azokat hazai és nemzetközi tudományos fórumokon több alkalommal közzétettem.

A békeidejű kutatómunka fő színtere a Magyar Honvédség Központi Honvédkórház majd az Honvédelmi Minisztérium Állami Egészségügyi Központ Általános Traumatológiai Osztálya, ahol a sérültellátáshoz és a feldolgozáshoz szükséges valamennyi eszköz rendelkezésre áll. A

szükséges forráslehetőségek (robbanásos esetszám, beteganyag) Magyarországon békekörülmények között meglehetősen szűkösek. A nagyobb saját esetszám kapcsán nyert további, háborús tapasztalatot különböző műveleti területeken az SFOR, KFOR és ISAF kötelékében szereztem meg. Nemzetközi kötelékben vezető sebészként Role 2+ ellátási szinten alkalmam nyílt nagyszámú robbanásos sérült kezelésére az elsődleges ellátástól a helyreállító sebészeti beavatkozásokig. Az így nyert tapasztalataimat elektronikus úton a helyszínen dolgoztam fel.

A kitűzött kutatási célok eléréséhez szükséges elméleti és klinikai ismeretanyag illetve dokumentáció feldolgozása után végeztem el az eredmények rendszerezését és készítettem el az értekezést.

1.5. Az értekezés elméleti és gyakorlati felhasználhatósága

Az értekezés elkészítésének fő célja a magyar nyelvű, a robbanásos sérülések ellátásával foglalkozó szakirodalmi hiány pótlása, a rendelkezésre álló külföldi irodalmi adatok rendszerezése és közzététele valamint az általam a robbanásos sérültek ellátásában szerzett tapasztalatok feldolgozása. A fentiek alapján céloom egységes ellátási elvek meghatározása a Magyar Honvédség és a polgári egészségügy sürgősségi és baleseti ellátással foglalkozó szakemberei számára.

Az értekezés elméleti és gyakorlati eredményei:

1. Rendszerezett magyar nyelvű, egységes szakirodalmi összefoglalás.
2. Ajánlás a robbanásos sérültellátás menetének meghatározására különböző társszakmák bevonásával.
3. Szakmai protokoll kidolgozása a robbanásos sérültek kezelésére mind a sürgősségi, mind a rekonstrukciós sebészeti beavatkozások tekintetében.
4. A rendszerezett eredmények beépítése az általános és szakorvosképzés rendszerébe.
5. Átfogó ismeretek nyújtása a honvédegészségügyben tevékenykedő teljes állomány számára (csapatorvosok, egészségügyi tiszthelyettesek, szakszemélyzet, egészségügyi katonák). Ilyen módon a szolgálatot teljesítő egészségügyi személyzet képzettsége magasabb szintet ér el.
6. A fenti szempontok figyelembevételével a külszolgálatot teljesítő állomány egészségügyi ellátásának és védelmének színvonala szintén magasabbá válik.

1.6. Az értekezés felépítése

A tartalomjegyzék áttekinthetővé teszi a kutatási téma feldolgozásának menetét, annak lépéseit.

A bevezetőben szerepel a téma tudomány-rendszertani értelmezése és helyének meghatározása a Magyar Honvédség illetve a polgári egészségügy sürgősségi és sebészeti típusú ellátásának rendszerében. Ugyanitt olvasható a témaválasztás indoklása, a kutatási célkitűzések és módszerek illetve az értekezés felhasználhatósága.

A főrészben a kutatási téma négy fejezetben kerül kidolgozásra. A második fejezetben a témával kapcsolatos alapfogalmak, fizikai elméleti alapok, a robbanások fajtái, a robbanóanyagok és szerkezetek típusai kerülnek ismertetésre. A harmadik fejezetben bemutatom a sérültellátás menetét saját esetek feldolgozásán keresztül, mely a témaválasztást megalapozta. A negyedik fejezet mutatja be a robbanások élő szervezetre kifejtett hatásait (mechanikai és hő) illetve ezek kombinációit. Ugyanitt szerepelnek a robbanásos sérülések típusai valamint a barotrauma és a mechanikai károsító tényezők kóroki

szerepe. Az ötödik fejezet tárgyalja a nyomásváltozás okozta károsodások kezelésének alapelveit illetve a mechanikai sérülések sebészi kezelésének lehetőségeit és menetét, különös tekintettel a damage control szerepére.

Az összefoglalásban szerepel az elvégzett tudományos tevékenység összegzése, a következtetések levonása a tézisek felállításával s végül az ajánlások a gyakorlati felhasználhatóság és továbbképzés szempontjából.

A táblázatok és ábrák a szövegben illetve a logikai egységek végén kerültek elhelyezésre. Az idegen szavak és kifejezések jegyzéke, a függelék és a felhasznált irodalom jegyzéke valamint a publikációs lista az értekezés végén található.

2. A robbanások sajátosságai, alapfogalmak, a robbanó szerkezetek jellemzői

2.1. Rövid történeti áttekintés

A katonai célú tervezéssel foglalkozókat évezredek óta foglalkoztatja a harcanyag és az élőerő tömeges méretű pusztításának gondolata. Erre legalkalmasabbnak a gyújtó és robbanó szerkezetek alkalmazása bizonyult, melyek fejlődésének főbb állomásai az alábbiak ^[30].

A robbanóanyagok történetileg első képviselője a **fekete lópor**, melyet Kr.e. 700 körül Kínában állítottak elő először s katonai célra Kr.u. 1000 körül kezdték alkalmazni, majd az arabok a keresztes háborúk végén a XIII. században tették ugyanezt. Európában először Roger Bacon 1249-ben állított elő fekete lőport, melyet első ízben 1326-ban alkalmaztak lőfegyverben. Az első, angol előállítású ágyú 1346-ban a cressy-i csatában került bevetésre. A XV. századtól kezdve rendszeresen alkalmaznak robbanó anyagokat, főleg várfalak robbantására. A lőport a XVI. századtól már ipari célra is használták. 1882-ben előállították a fekete lópor alapú **puskaport**, mely robbanási sebessége nagyobb, ezért lőfegyverek lövedékeinek kilövésére alkalmasabb. 1846-ban a német Schönbein állított elő **nitrocellulózt**, ugyanebben az évben az itáliai Sobrero pedig **nitroglicerint**, melyek detonációsebessége sokszorosa a lőporszármazékokénak. Alfred Nobel 1867-ben előállította a **dinamitot**. 1871-ben a német Sprengel szabadalmaztatta a **pikrinsavat** (trinitrofenol), amely az első katonai alkalmazásra széles körben rendszerbe állított robbanó alapanyag volt. Ennek származéka a **trottil** (trinitrotouol, TNT), mely az első világháborúban általánosan rendszeresített robbanószerre vált. A **hexogént**, mely származékaival a második világháború elterjedt robbanóanyaga lett, 1920-ban a német Herz szabadalmaztatta. A **semtex** 1966-ban a cseh Brebera által került előállításra s a mai napig igen gyakran alkalmazott robbanószer.

A lőpor feltalálása óta a robbanó szerkezetek fejlesztése folyamatos és egyre differenciáltabb jellegű. A kémiai anyagok fejlődésével a kezdeti elrettentő hatás helyett lehetővé vált a minél célzottabb és koncentráltabb pusztító erő elérése. A mai értelemben vett robbanó szerkezetek a XX. század elejétől kezdve kerültek alkalmazásra, tömeges méretekben először az I. világháborúban. A célterületre való juttatás tekintetében ezen szerkezetek lehetnek fixen telepítettek illetve kilőhetők vagy repülőgépről ledobhatók. Előbbi kategóriába a szárazföldi és vízi telepítésű aknák, utóbbiba a tüzérség által kilőhető lövedékek illetve a légierő által alkalmazott légibombák tartoznak. Az első világháborúban döntően a földi tüzérség által kilőtt robbanó szerkezetek kerültek alkalmazásra, a másodikban ehhez a légierő által nagy számban alkalmazott bombák társultak. Mindkét alkalmazás célja a minél nagyobb pusztítás a harcanyagok tekintetében illetve a romboló hatás fokozása az élőerőben elérhető legnagyobb pusztítás mellett. A második világháborúban ezt a pusztító hatást a gyújtó hatású robbanóanyagok tovább fokozták. A fix telepítésű robbanó szerkezetek közé a különféle

aknák és származékaik tartoznak. A telepített aknák nagy mennyiségben első ízben a második világháború idején kerültek alkalmazásra. Széleskörű elterjedésük a második világháború után következett be különféle helyi konfliktusok, polgárháborúk során. A lehető legolcsóbban a lehető legnagyobb pusztítást végző eszközök ezek, ezért igen nagy számban kerültek és kerülnek alkalmazásra a harmadik világ országaiban. Igen hatékony fegyverek, telepítésük viszonylag egyszerű, mentesítésük jóval nehezebb, könnyen alkalmazhatók bármilyen időjárási feltételek mellett, szinte korlátlan ideig. Az aknák által az élőerőben okozott pusztítás aránya a második világháborúban 20 %, a koreai háborúban 56 %, a vietnami háborúban 69 % volt ^[27].

Az aknák igen nagy pusztítást végeznek az élőerőben, elsősorban a polgári lakosság körében akár évekkel, évtizedekkel a konfliktus lezárása után, hiszen az aknamentesítés igen hosszú időt vesz igénybe. Emiatt született 1980-ban a Genfi Egyezmény a „Mértéktelen sérülést okozó vagy megkülönböztetés nélkül hatónak tekinthető egyes hagyományos fegyverek alkalmazásának betiltásáról, illetve korlátozásáról”. A folyamat folytatásaképpen a taposóaknák betiltásáról szóló 1992-es Brüsszeli Nyilatkozat, majd az Ottawai Egyezmény került kiadásra, melyet azonban a kiterjedt, nehezen védhető határszakasszal rendelkező országok nem írtak alá. Napjaink egyik legégetőbb kérdése az érintett területek aknamentesítése ^[27].

2.2. A kutatási téma alapfogalmai

Az értekezés fő témáival kapcsolatos jelenségek kutatása és értelmezése egyértelmű, jól definiált fogalmakat és nevezéktant tesz szükségessé. Mindez a robbanásokkal kapcsolatos fizikai jelenségek, a robbanóanyagok fajtái, a sérülések és a gyógykezelés tekintetében egyaránt igaz.

2.2.1. A robbanóanyag fogalma

Robbanóanyagnak nevezük az olyan gyakorlatilag hasznosítható vegyületeket, amely a megfelelő kezdőgyújtás hatására önfenntartó kémiai átalakulás során hirtelen magas nyomású és hőmérsékletű gáztermékekké alakulnak át s ezek kitágulásuk során nagy teljesítményű munkát végeznek ^[29]. A százazred másodperc nagyságrendű igen nagy reakciósebesség miatt az égés kívülről nem táplálható, így a robbanóanyagok az égés összes elemét, beleértve a szükséges oxigénmennyiséget is, önmagukban tartalmazzák, nagyrészt nitrogénhez kötött állapotban (ezért robbanáskor nagy mennyiségű nitrogén-monoxid szabadul fel). A robbanás szempontjából a robbanóanyagok legfontosabb tulajdonságai többek között a következő paraméterekkel írhatók le: detonációsebesség, robbanáshő, fajlagos gáztérfogat, oxigénegyenleg. Meghatározásukat a „Függelék” fejezetben foglaltam össze. A robbanóanyagoknak gyakorlati alkalmazása szerint 3 fajtája ismeretes: iniciáló, brizáns (magas, közepes és alacsony hatóerejű) illetve ballisztikus.

2.3. A robbanás fizikai alapjai

Robbanás során a robbanó anyag halmazállapotában igen rövid idő alatt változás áll be, mely során nagy mennyiségű, magas hőmérsékletű és nagy sebességgel terjedő gáz szabadul fel. A nyomás hirtelen ugrásszerűen megnő s **lökéshullám** vagy **nyomáshullám** alakul ki, mely a környezeti tárgyak elhelyezkedésétől függően a tér minden irányában terjed. Bármilyen anyagi rendszer nagy energiafelszabadulással járó gyors szétbomlása robbanásnak minősül.

A robbanások környezetükben szeizmikus hatásokat hoznak létre, ezen dinamikus jelenség a robbanás keltette **vibráció**, mely a 0.3-30 Hz közötti tartományban mozog [23].



1. ábra. Katonai robbanóeszköz hatása (Pellek S. anyagából).

2.3.1. A robbanások fajtái

A robbanás jellege szerint lehet fizikai, kémiai ill. atommag-hasadás jellegű [29].

Fizikai robbanásban az anyag kémiai összetétele változatlan marad, csak a fizikai állapota változik meg. A felhalmozott mechanikai energia robbanásszerűen szabadul fel (pl. gázpalack robbanása vagy robbanásos jellegű vulkánkitörés).

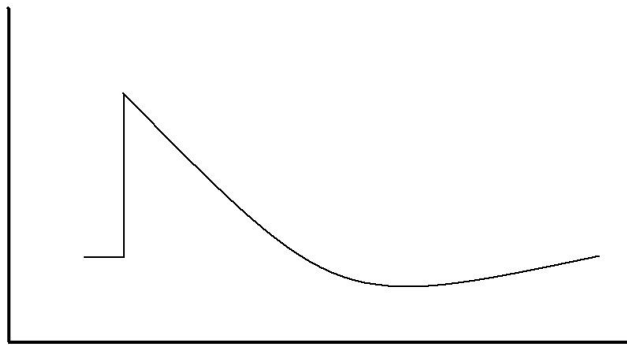
A **kémiai robbanásoknak** két fajtáját különböztetjük meg. **Térrobbanásban** legalább egy részt vevő anyag gázhalmazállapotú (aeroszol robbanóanyagok). **Kondenzált fázisú robbanásban** az anyag kémiai összetétele változik meg (katonai és ipari robbanóanyagok). A megfelelő aktiválási energiával elindított kémiai átalakulásban nagy energiaszabadulás következik be, mely az egész anyag aktiválásához elegendő (önfenntartó jelleg). A robbanás ereje függ az átalakulás sebességétől, a képződő gázok mennyiségétől és a felszabaduló hőmennyiségtől. A keletkező termékek legalább részben gázok, melyek térfogata és nyomásnövekedése jelentékeny. Az átalakulás sebessége szerint **detonációról** (1-10 km/s), **explózióról** (100-1000 m/s), **lobbanásról** (néhány cm/s-m/s) illetve **deflagrációról** (néhány m/s) beszélünk.

Az előidéző ok szerint lehet robbanó szerkezetből származó robbanás, mely pusztító hatása a **lökéshullám** és a **repszhatás** következtében jön létre. A kémiai anyagok által létrejött vegyi robbanás hatását a gyakori **lángégés** és a magas hőmérsékletű illetve **mérgező gázok és égéstermékek** felszabadulása súlyosbítja. Erősen gyúlékony anyagok hirtelen meggyulladására nagy hőmérsékletű lángégéssel kísért robbanást eredményez. Sűrített gázzal telt tartályok felrobbanásakor a robbanási nyomásváltozást a hirtelen kiszabaduló és kitáguló gáz fokozza. Nagy hőfelszabadulással járó robbanás erejét víz jelenléte a hirtelen gőzképződés által fokozhatja. Speciális forma a valamilyen erősen gyúlékony anyaggal megnövelt hatású robbanó eszközök, más néven **aeroszol robbanóanyagok** (fuel air explosive, FAE) működése, mely során az elsődleges robbanás valamilyen erősen gyúlékony anyagot (benzin vagy egyéb üzemanyag) gőzszerű halmazállapotban permetez szét a környezetben s ez oxigénnel elkeveredve nagy erejű másodlagos robbanást hoz létre ún. tűzgömb

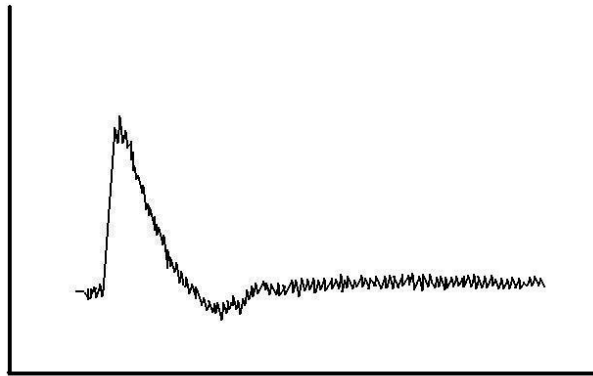
keletkezésével. Gyakran **légvákuum-jelenség** kíséri, mely következtében a sérültek fulladása következhet be. A jelenség a hosszan tartó magas hőmérsékletű égés miatti nagy tömegű oxigén-elhasználódás miatt következik be.

2.3.2. Robbanásos túlnyomás (robbanási nyomáshullám, blast overpressure, BOP)

A nyomáshullám frontján a levegő összepréselődik. A robbanási hullám terjedésének első, pozitív fázisban igen rövid idő alatt magas pozitív túlnyomás alakul ki, melyet **lökéshullámnak** nevezünk (shock wave). Ezt követően a második, negatív fázisban a nyomás a légköri nyomás alá csökken, ekkor a levegő visszaáramlik a negatív nyomású környezetbe, ez az ún. **ellenlökés** jelensége (blast wind). A kettő között a kiegyenlítődség pontján egy pillanatra tartó **nyugalmi fázis** következik be. Szabad környezetben az idő függvényében a fenti folyamat jellegzetes képet ad, melyet **Friedlander-féle hullámnak** vagy szabadtéri hullámnak nevezünk.

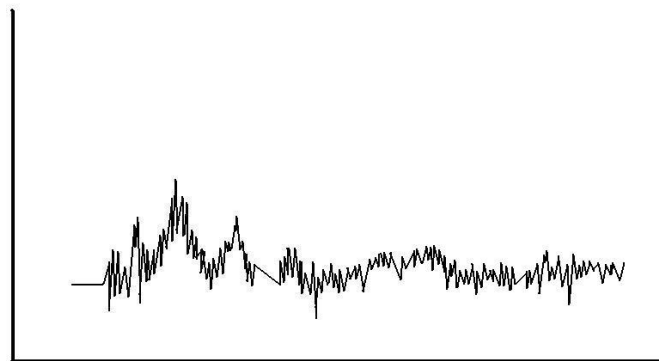


2. ábra. Klasszikus Friedlander-féle nyomáshullám a légköri nyomást meghaladó pozitív nyomáscsúccsal, majd negatív hullámmal. A klasszikus nyomásgörbe ténylegsen nem létező szabályos nyomásváltozást reprezentál, melyet a valóságban a visszaverődő hullámok kisebb, pozitív és negatív nyomáscsúcsai törnek meg. (Mayorga M.A.: *The Pathology of Primary Blast Overpressure Injury. Toxicology. 1997; 121: 17-28. alapján*)



3. ábra. Nyílt helyszíni robbanás nyomáshulláma a kezdeti pozitív, majd negatív fázissal, melyet kisebb csúcsok törnek meg. Ezek a tárgyról és a földfelszínről való visszaverődéseket jelzik. (Mayorga M.A.: *The Pathology of Primary Blast Overpressure Injury. Toxicology. 1997; 121: 17-28. alapján a szerző ábrája*)

Zárt környezetben a nyomásviszonyok a visszaverődő hullámoknak köszönhetően másképp alakulnak, ez az ún. **komplex hullám**. Az elsődleges robbanási hullámot számos másodlagos hullám követi. Zárt térben a visszavert hullámok szuperpozíciója következtében a kialakuló nyomásszint magasabb lehet a primer hullámokénál. Hosszú idejű túlnyomás esetén az a zárt tér egészére kiterjed, rövid idejű túlnyomás esetén azonban jellegzetes, lokalizált túlnyomás képében jeleik meg, melyek a határoló felületek és sarkok közelében helyezkednek el ^[39].



4. ábra. Komplex hullám többszörös pozitív és negatív fázissal. A kezdeti pozitív csúcs után a zárt helyszín felszíneiről visszaverődő hullámokat többszörös csúcsok jelzik. (Mayorga M.A.: *The Pathology of Primary Blast Overpressure Injury. Toxicology. 1997; 121: 17-28. alapján a szerző ábrája*)

A nyomáshullám két komponensből tevődik össze. Az első, a **statikus** túlnyomásos komponens csak a robbanási nyomásváltozás nagysága határozza meg, független a környezettől és az abban található tárgytól. A második, **dinamikus** komponens a

nyomáshullám útjában levő gázok (levegő, robbanási gázok) összenyomhatóságából adódóan a környezetben levő tárgyak befolyásolják, hiszen azok az összenyomható gázhullám alakját és nyomását megváltoztatják. A tárgyak fizikai tulajdonságai: alakja, mérete, anyaga és sűrűsége meghatározó ebből a szempontból. Ezen kívül a robbanási gáz minősége és sebessége szintén meghatározó. A tárgyról visszaverődő nyomáshullám szintén befolyásol. A robbanások erejük (magnitúdójuk) szerint a nyomáshullám sebessége és energiája szempontjából két csoportra oszthatók. **Magas hatóerejű robbanás** (high-order explosive, HE) esetén a robbanóanyag igen rövid idő alatt megy át szilárd fázisból gázfázisba a nyomás hirtelen lökészerű emelkedésével. Igen nagy energia szabadul fel rendkívül rövid idő alatt, így szuperszonikus sebességgel (1400-9000 m/s) terjedő túlnyomásos nyomáshullám, azaz lökeshullám keletkezik. Jellemző a nagymértékű fragmentáció és repeszképzés illetve az intenzív hőképződés. **Alacsony hatóerejű robbanás** (low-order explosive, LE) esetén a sebesség hangsebesség alatti (kisebb, mint 1000 m/s), hiányzik a magas hatóerejű robbanásra jellemző túlnyomásos nyomáshullám. A nyomásváltozás kisebb mértékű és jóval lassúbb. Főként a hőhatás jellemző. A magas hatóerejű robbanás okozta túlnyomásos nyomáshullám különbözik az alacsony hatóerejű robbanás által létrehozott robbanási hullámtól, mely tulajdonképpen a felforrósodott levegő és gázok nagy sebességű áramlása. Ilyen módon a kétféle robbanási típus eltérő sérüléseket hoz létre. Magas hatóerejű robbanás esetén a detonációs nyomáshullám a légtartalmú szervek károsodását okozza (elsődleges robbanásos sérülés), míg alacsony hatóerejű robbanás esetén repeszérülés (másodlagos robbanásos sérülés), a robbanási lökés-ellenlökés okozta, a test helyváltoztatásából adódó sérülés (harmadlagos robbanásos sérülés) és a hőkárosodás (negyedleges robbanásos sérülés) jellemző. Magas hatóerejű robbanástípust főleg a katonai célra gyártott és rendszeresített robbanóanyagok okoznak. Az ezekben található legelterjedtebb robbanóanyag típusok: TNT, C-4, semtex, nitroglicerin. Gyakori alacsony hatóerejű robbanóanyagok: lőpor, ammónium-nitrát alapú ipari robbanóanyagok (ANDO, ANFO). Terroristák által használt robbanóanyagok lehetnek katonai célra rendszeresített anyagok vagy házilag készített robbanó szerkezetek (IED: improvised explosive devices), amelyek okozhatnak magas vagy alacsony hatóerejű illetve kevert típusú robbanást. A katonai célpontok ellen leggyakrabban magas hatóerejű rendszeresített robbanóanyagok kerülnek alkalmazásra, míg a civil lakosság elleni támadásra általában alacsony hatóerejű robbanóanyagok használatosak, ezért az okozott sérülések is különbözőek. A katonai élőerő és a civil lakosság körében elszenvedett sérülések jellege azonban nemcsak emiatt tér el egymástól. A katonai állomány fiatal, egészséges személyekből (főleg férfiakból) áll, akik védőfelszerelést viselnek (sisak, repeszvédő mellény), így a fej és a törzs relatíve védettebb. Közöttük a végtagsérülések előfordulása magasabb. Ezzel szemben a polgári lakosság körében gyermekek, idősek és nők találhatók, akik általában semmilyen védőeszközzel nem rendelkeznek. A fej és a törzs sérülései a végtagsérülések mellett gyakoribbak. A sérülések hatásait az áldozatok egészségi állapota, kísérő betegsége is befolyásolja, hiszen a polgári lakosság körében betegek és elesett állapotúak is találhatók ^[12].

Az ún. **megnövelt hatású robbanó eszközök** (EBW, enhanced blast weapon) által keltett túlnyomás alacsonyabb, rosszabb ideig tart és nagyobb távolságra terjed. A cél a pusztító hatás növelése. Így a halálos sérülések zónájának sugara 3-6 m-ről legalább tízszeresére, 30-60 m-re növekszik.

Víz alatti robbanások esetén az epicentrumhoz közel igen gyors, nagy nyomású hullámfront alakul ki. Távolsabb alacsony frekvenciájú, folyamatos hullámforma jön létre. A víz mintegy 800-szor sűrűbb a levegőnél és 10000-szer kevésbé összenyomható. A nyomáshullám ennek alapján vízben magasabb nyomásváltozást és lassúbb terjedési sebességet eredményez. A képet a buborékképződés módosítja. Robbanáskor az igen gyors buborékképződés miatt a víz elmozdulást szenved, de az ezt követő fázisban a buborékokban lévő gáz összenyomódik,

majd ismét kitágul, másodlagos nyomáshullámok sorozatát hozva létre. Ezen kívül reflexhullámok verődnek vissza a vízfelszínről, a tengerfenékről és a környező víz alatti tereptárgyakról, melyek a túlnyomás okozta sérüléseket súlyosbíthatják.

2.4. A robbanó szerkezetek rövid áttekintése

2.4.1. A robbanó anyagok és szerkezetek fajtái

A chicago-i székhelyű Emergency Response and Research Institute (ERRI) 2003-as állásfoglalása szerint a hadviselésben a robbanó szerkezetek 4 fő kategóriára oszthatók ^[34]. Ezek:

1. Bombák és pokolgépek, meglepő aknák
2. Házi készítésű vagy rögtönzött robbanó eszközök (IED)
3. Légibombák, tüzérségi lövedékek, rakétagránátok, hátrasiklás nélküli reaktív páncéltörők
4. Aknák

2.4.1.1. Bombák és pokolgépek, meglepő aknák

A terrortámadások fő eszközei, melyek lehetnek időzítő szerkezettel ellátott, távirányított, gépjármű (többnyire tehergépkocsi) által hordozott és öngyilkos merénylők által felrobbantott legkülönbébb bombák.

2.4.1.2. Házi készítésű vagy rögtönzött robbanó eszközök (improvised explosive device, IED)

A terrorcselekmények során a kereskedelmi forgalomban is kapható anyagokból a legkülönbébb megjelenési formájú és robbanóerejű eszközök kerülnek alkalmazásra. A robbanóanyag mennyisége és a kiszerelés szerint teherautó-, gépkocsi-, táska-, hátizsák-, levél- és csőbombákat különböztetünk meg. Igen gyakran kisebb mennyiségű ipari robbanóanyagot használnak primer robbantásra, mely során valamilyen nagyobb robbanóerejű anyagot robbantanak fel. A robbanó hatás növelésére ilyen módon gyakran gázpalackok vagy egyéb gyúlékony anyagok használatosak. A repeszhatás növelésére a robbanó anyagot fémforgáccsal, szegekkel vagy csavarokkal teletömött köpenybe burkolják. Ilyen módon az okozott sérülések is igen különfélék, legjellemzőbbek azonban a repeszek okozta sérülések. Gyakori, hogy az ún. kötegbombák a primer robbantása során kisebb méretű, de nem elhanyagolható robbanóerejű másodlagos robbanó szerkezetek szóródnak szét és térben szélesebb környezetben másodlagos robbanásokkal okoznak pusztítást. Gyakori, hogy a másodlagos robbantást távirányító szerkezettel a mentés megkezdése után indítják el annak érdekében, hogy a mentést végzők körében is a lehető legnagyobb pusztítást hozzák létre. Ennek pszichológiai hatása igen jelentős.

2.4.1.3. Légibombák, tüzérségi lövedékek, rakétagránátok, hátrasiklás nélküli reaktív páncéltörők (rocket propelled grenade, RPG)

A reguláris hadviselő felek és félkatonai illetve gerillaegységek által alkalmazott fegyverek.

Különleges forma az űrméret alatti páncéltörő lövedék, mely egyes típusai a páncéltörő hatás elérésére igen nagy keménységű gyengített urániumot tartalmaznak. A rombolóerő mellett ennek csekély alfa-sugárzást kibocsátó hatásával is számolni kell, bár az erre vonatkozó adatok nem tisztázottak. A pusztító hatás nem közvetlenül az ionizáló sugárzás által jön létre, hanem közvetetten azáltal, hogy az alfa-sugárzást kibocsátó izotópok kiszóródva beépülnek a táplálékláncba.

2.4.1.4. Aknák

Akna minden olyan robbanótestet jelent, amelyet a föld vagy más felszíni terület alá, ilyen területre vagy annak közelébe helyeznek és amelynek gyújtása és felrobbantása személy vagy jármű jelenlététől, közelségétől vagy érintésétől következik be^[27]. A pusztító hatás döntően a robbanás lökéshulláma és a repeszhatás által jön létre. Elhelyezése szerint szárazföldi és vízi telepítésű formája ismeretes. Jelen dolgozatban csupán a szárazföldi telepítésű aknák hatásainak ismertetésére kerül sor.

A szárazföldi telepítésű aknák két nagy csoportja a gyalogság elleni aknák illetve a harckocsik és járművek elleni aknák. További csoportot képeznek a különleges aknák.

2.4.1.4.1. Gyalogság elleni aknák

Minden olyan akna e csoportba tartozik, amely a célt szolgálja, hogy az ember jelenlététől, közelségétől vagy érintésétől felrobbanjon és a személyek harcképtelenné tételét, sérülését vagy halálát idézze elő (kontakt aknák illetve nem automata működésű irányított repeszaknák). A fő cél nem feltétlenül az élet kioltása, hanem az áldozat harcképtelenné tétele és a sérült kimentéséhez illetve ellátásához további erők lekötése. Ezáltal a ténylegesen harcoló katonák száma csökken. Az élőerő mozgása az aknaveszély miatt korlátozódik és a hadműveletek lelassulnak. Az aknák általi fenyegetettség ezáltal a területvédelemben játszik szerepet. A gyalogság elleni aknák két nagy csoportja ismeretes: romboló hatású taposóaknák és repeszaknák. Fajtaí az alábbiakban kerülnek ismertetésre.

Hagyományos gyalogság elleni taposóaknák

A föld színén vagy az alatt telepítettek. A robbanáshoz szükséges nyomóerő 5-10 kg. Fő hatásuk az alsó végtagok roncsolása a lökéshullám által. Össztömegük 30-200 g. Magas hatóerejű robbanóanyagot tartalmaznak.

Fix telepítésű, körkörös hatású repeszaknák

A föld felszíne fölött 10-20 cm-rel telepítettek. Az aknatest anyaga fém, beton vagy műanyag, beágyazott acélgolyókkal. A repeszek hatósugara 15-30 m. Fő hatás a repeszhatás, mely a járművek borítását is átütheti. Házilagosan igen könnyen előállítható. Össztömegük 75-100 g, magas hatóerejű robbanóanyagot tartalmaznak.

Körkörös hatású ugró repeszaknák

A föld felszíne alá telepítettek, ahonnan az ún. kilövőtöltet 1-1.5 m magasra lövi a felszín fölé, ahol tényleges robbanása bekövetkezik. Az aknatest anyaga fém vagy egyéb repeszképző. A repeszek hatósugara 20-30 m. Fő hatás a repeszhatás. A repeszek alakja lehet szabályos mértani test (pl. golyó, henger, hasáb) vagy szabálytalan.

Irányított hatású repeszaknák

A robbanás a tér egy meghatározott irányában koncentráltan juttat repeszeket. Két fajtája ismeretes. A közeli hatású a földfelszínre telepítve 50 m repesz hatósugarú, míg a távoli

hatású kiemelkedő, magaslati helyekre telepítve 100-200 m repesz hatósugarú. A repeszek alakja szabályos mértani alakzat.

2.4.1.4.2. Harckocsi ill. jármű elleni aknák

A földfelszín alá vagy fölé telepíthetőek. Fő hatás a lökeshullám, mely a lánctalp roncsolását célozza illetve az irányított lökeshullám, mely a járművek fenéklemezét vagy oldalát képes átütni. Az élőerőben okozott pusztítás és a sérülések a zárt térben bekövetkező robbanások hatásainak köszönhető. Fajtái: hagyományos lánctalp elleni harckocsiaknák, fenéklemez elleni harckocsiaknák, oldal elleni harckocsiaknák.

2.4.1.4.3. Különleges aknák

Kevert formák, gyakran harckocsi és gyalogság elleni aknák egyesítésével sokszor „házilag” készítik. Rendszerint nagy töltetmennyiséget tartalmaznak. Előfordulnak átalakított tüzéségi lőszeres és légibombák is, melyek felrobbanva szintén jóval nagyobb hatással bírnak. Az egymás fölé helyezett harckocsi elleni aknák különösen veszélyesek, mert primeren rendszerint csak a legfelülre helyezett robban, a mélyebben levő pedig a mentést vagy a mentesítést végzőket veszélyezteti. Az úgynevezett kőszóró aknákat sziklás területek vagy nagy kőhalmok alá telepítik, így fokozva a pusztító hatást.

2.4.1.5. Az aknák felépítése

Minden akna három részből áll: aknatest, robbanó töltet, gyújtószerkezet.

Aknatest

Szerepe a szerkezeti elemek védelme és összefogása. Anyaga lehet fém, műanyag, beton, fa papír, szövet stb. Repeszhatású aknák esetében a test anyaga is repeszképző tulajdonságú. A műanyag borítású repeszaknák testébe acélgolyókat ágyaznak. Az aknatest alkatrészeitől származó sérülések a repeszhatás révén jönnek létre.

Robbanóanyag töltet

Nagy erejű robbanóanyag, legtöbbször trotil vagy származéka. A robbanáskor bekövetkező halmazállapot-változás során nagy térfogatú, magas hőmérsékletű, nagy sebességgel terjedő gázok nyomásváltozása lökeshullámot hoz létre, mely a pusztító hatásért felelős. A nyomáshullám terjedése befolyásolható a töltet alakja által. Síma felület esetén a nyomáshullám egyenletesen terjed, domború felületnél széttartó, homorú felületnél összetartó lesz a terjedés. Ennek megfelelően, ha kiterjedt rombolás szükséges, az akna alakja nem nagy jelentőségű. Amennyiben a széles repeszhatás fokozása a cél, domború vagy henger alakú felület célszerű. Abban az esetben, amikor koncentrált, irányított, nagy erejű robbanás előidézése szükséges (pl. fenéklemez elleni harckocsiakna), a felületnek homorúnak kell lennie.

Gyújtószerkezet

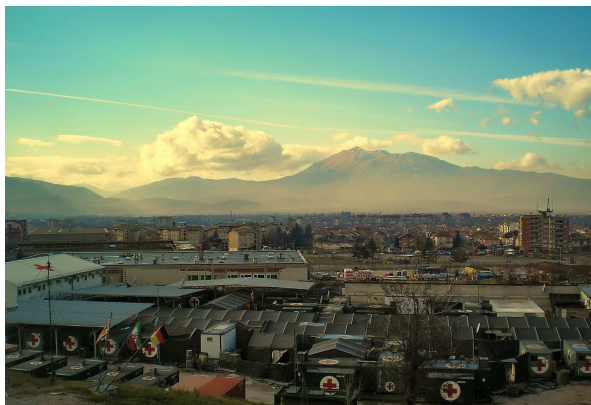
Fajtái: mechanikus, elektronikus, kémiai illetve ezek kombinációi. Az élőerőt leginkább megtizedelő gyalogság vagy járművek elleni aknák nagy része érintkezésre működő gyújtó, mely közvetlen fizikai kölcsönhatást igényel (nyomás, húzás, billentés). Az érintkezés nélküli

gyűjtők esetében fizikai kontaktus nem szükséges, ezek azonban bonyolultságuk miatt kevésbé elterjedtek.

3. A robbanásos sérültek ellátásában szerzett saját tapasztalatok

3.1. Sérültellátás műveleti területen

Az ezen fejezetben leírtak a boszniai (1998), koszovói (2006-07) és afganisztáni (2008-09 illetve 2009-10) műveleti területeken szerzett tapasztalataim alapulnak, melyek a Bundeswehr Rajlovac, Prizren és Mazar e Sharif (MeS) településeken létesített Role 2+ továbbá egyéb Role 1 és Role 1+ ellátó helyeken kerültek megszerzésre. Utóbbiak között szerepelnek: Kunduz (Afg) német, Trogir (Hr) brit, Okucani (Hr) magyar, Tuzla (BiH) USAF, Visoko (BiH) osztrák-görög, Pec (Ko) olasz-magyar, Pristina (Ko) magyar és Pol e Khomri (Afg) magyar, közvetve Kandahar (Afg) USArmy, Fayzabad (Afg) német, Maymaneh (Afg) norvég.



5. ábra. Német Role 2+ tábori kórház, Prizren, Kosovo és Mazar e Sharif, Afganisztán (a szerző felvételei).

3.1.1. Prehospitális ellátás

A prehospitális ellátásról írtak a műveleti területeken működő MedEvac és AirEvac egységekkel együttműködésben szerzett tapasztalataim alapulnak.

3.1.1.1. Sérültellátás a helyszínen: ön- és kölcsönös segély

A helyszíni sérültellátás jellemzője, hogy első lépésben nem egészségügyi személyzet által kerül végrehajtásra hanem a műveleti területen tevékenykedő katonák végzik ön- és kölcsönös segély keretében. Cél a sérült életfontosságú élettani működéseinek fenntartása szükségeszközökkel, vérzéscsillapítás és a fájdalom csillapítása, égés esetén a ruházat eloltása és az égett felületek azonnali hűtése. A Bundeswehr személyi állományánál egységes életmentő csomag áll rendelkezésre, mely végtagelszorító vértelenítő eszközt (torniquet), sebbe helyezhető vérzéscsillapító anyagot valamint intraosseális injekcióban erős hatású

fájdalomcsillapítót tartalmaz. Ezek használatára a műveleti területre érkező valamennyi katonát minden egyes alkalommal kötelezően kiképzik, használatukat a gyakorlatban is elsajátíttatják.



6. ábra. Aknasérült helyszíni ellátása (Pellek S. anyagából).

3.1.1.2. Sérültellátás a helyszínen: combat medic

A sérültellátás második lépésében az azonnali életmentő beavatkozásokra és újraélesztésre kiképzett harcoló katona, az ún. „combat medic” kísérletet tesz a beteg állapotának stabilizálására. Ezen személy szintén nem rendelkezik egészségügyi végzettséggel, hanem kiképzése során speciális tanfolyamon vett részt, melyen elsajátította az újraélesztéshez szükséges alapismereteket. Az ehhez szükséges eszközök egységcsomagban rendelkezésre állnak. Tevékenységének célja a sérült életének megmentése: légútbiztosítás, periferiás vénabiztosítás, folyadékpótlás, vérzéscsillapítás, a törések sínezéssel való rögzítése, fájdalomcsillapítás.

3.1.1.3. Sérültellátás a helyszínen: MedEvac

A harmadik lépésben a műveleti területen való mentésre rendszeresített MedEvac egységek végzik a sérültek ellátását. Ezek helyszínre hívása szigorúan meghatározott szabályok szerint történik.

Tevékenységének célja a beteg életének megmentése szükség szerinti újraélesztéssel, lehetőség szerinti sokktalanítása és állapotának stabilizálása, vérzéscsillapítás, a mellkas detenzionálása, lélegeztetés, a törések sínezéssel való rögzítése, fájdalomcsillapítás. A sérülteket MedEvac egységek szállítják az ellátás hospitális szintjére.

3.1.2. Hospitális ellátás

A hospitális ellátásról írtak legnagyobb részben a műveleti területeken telepített Role 2+ ellátó helyek nemzetközi kötelékében végzett tevékenység során szerzett saját

tapasztalataimon, kisebb részben Role 1 és Role 1+ ellátó szintekkel történt együttműködés eredményein alapulnak.

3.1.2.1. Sérültellátás Role 1 és Role 1+ szinten (Kandahar US, PeK H, Kunduz és Fayzabad, D, Maymaneh N)

Az első fix településű orvosi ellátó hely, mely ellátási kvalitásait és kapacitását tekintve az egyes nemzeteknél eltérő. Tömeges sérültáramlás esetén elsődleges feladata a sérültosztályozás (triage). Az életmentő beavatkozások azonnali elvégzése itt történik: újraélesztés, sokkatalanítás, folyadékpótlás (vagy amennyiben lehetséges, permisszív hypotensio alkalmazása), fájdalomcsillapítás limitált műtői és intenzív ellátási kapacitás mellett. Amikor fizikális vizsgálattal vagy pulsoxymetriával légzési elégtelenség áll fenn, lélegeztetés és mellkasi szívócső behelyezése történik. Amennyiben műtői és intenzív ellátási kapacitás rendelkezésre áll, az életmentő sebészeti beavatkozások is itt zajlanak a damage control surgery elvei szerint. Ebben behatoló vagy tompa testüregi sérülés esetén thoracotomia, laparotomia, craniotomia végzése szerepel, esetleges bélresectio, atípusos tüdőlebens resectio. Kiterjedt égés esetén primer necrectomia, hegkimetszés, fasciotomia szerepel. Légúti égés esetén intubatio vagy tracheostomia történik. Az elsődleges sebellátás is itt történik a sebek nyitva kezelésével, továbbá az életmentő amputációk a „life before limb” elvének megfelelően. Széles spektrumú antibiotikumok adása szintén itt kezdődik a tetanus profilaxis biztosítása mellett. A thrombosis profilaxis is e szinten indul meg. Amennyiben rendelkezésre áll, RTG és CT vizsgálat végzendő.

A fenti Role 1+ sebészeti ellátó kapacitás: 1 sokkatalanító, 1 műtő, 1 műtői team, 2 intenzív ágy, rtg.

3.1.2.2. Sérültellátás Role 2 és Role 2+ szinten (MeS D-H)

A sérültellátásban ritkán szerepel első ellátó helyen, a betegek rendszerint Role 1 szintről vagy helyi polgári kórházból kerülnek átvételre. Primer ellátás abban az esetben történik, amennyiben a hatáskörzetben történt a sérülés. Hatásköre a Role 1 szintű ellátás teljes biztosítása. Ezen felül az elsődleges műtéti ellátás mellett a reoperációk (second look) e szinten folynak, intenzív osztályos háttér mellett. A primer műtét ellátás trauma teamek által történik. Érsérülés vagy kiterjedt roncsolás esetén a keringés helyreállítása itt kerül elvégzésre. A csonttörések rögzítése külső rögzítővel történik, melyet gipszrögzítés egészíthet ki. A medence stabilizálása hasonló módszerrel (pelvic clamp) végezhető. Ez az első ellátó hely, ahol lehetőség nyílik a testüregi sérülések definitív műtéti ellátására vagy ISAF állomány esetén 48-72 órán belüli evakuációra. BélcSATornasérülés esetén bélcsonk hasfal elé emelése is végezhető. RTG és CT kivizsgálás, részletes laboratóriumi vizsgálatok is itt történnek. Hasúri compartment szindróma vagy kiterjedt lágyszöveti sérülés esetén vákuum-asszisztált nyitva kezelés folyik. Az első bőrpótlások itt kezdhetők.

A sérültellátást trauma team-ek végzik, melyek egyenként 2 sebészi típusú képzettségű orvostól, 1 aneszteziológus orvostól, 1 aneszteziológiai asszisztensből és 2 ápolóból állnak. Ezt egészíti ki a műtők személyzete.

A fenti Role 2 sebészeti ellátó kapacitás: 2+1 sokkatalanító, 2+1 műtő, 2+1 műtői team, 4+2 intenzív ágy, rtg, CT.

3.1.2.3. Sérültellátás Role 3 szinten

A tényleges műveleti területtől távoli harctámogató kórház szintjén az előző két ellátási szint feladatain kívül teljes körű sérültellátás végezhető: a sérülések definitív műtéti ellátása, előre tervezett műtéti sorozatok által valamint a testüregek végleges zárása, a bélcsatorna helyreállítása. A csonttörések végleges műtéti rögzítése is itt történik a fixateur externe-ről egyéb módszerekre történő váltás által. A bőr- és lágyszöveti hiányok plasztikai sebészeti módszerekkel való megoldása itt zajlik. E szinten a betegek rehabilitációja is megkezdődik.

3.1.2.4. Sérültellátás Role 4 szinten

Az anyaországban bármilyen sebészeti típusú ellátás rendelkezésre áll. Teljes körű rekonstruktív sebészet, bőr-, lágyszövet- és csontpótlás, idegrekonstrukció. Rehabilitáció folytatása, reumatológiai kezelés, protetika.

3.1.3. Esetismertetések és ellátási forgatókönyvek

ISAF, 2008.12.21. Kunduz térsége

Esemény: páncélozott gépjármű elleni RPG támadás. A sérült járművezető 26 éves férfi, ISAF katona. A lövedék áthatolt a jármű mindkét oldali páncélzatán és azon kívül robbant. A katona bal arcfelén, bal felső végtagján és törzsének bal oldalán szenvedett repeszszérüléseket.

Role 1 Kunduz

Az első ellátás során a sebek fedőkötése, venabiztosítás, stift neck felhelyezése történt. Stabil állapotban vákuummatracban 12 órán belül légi szállítást végeztek Role 2+ ellátó helyre.

Role 2+ MeS

Kivizsgálás: Fizikális vizsgálat. Teljes test CT (trauma scan): koponya, C gerinc, mellkas, has negatív, a bal felső végtagban és a bal arcfélben repeszek. Gégészeti vizsgálattal bal dobhártyasérülés. Műtéti ellátás: sebkimetszés, idegentestek eltávolítása, vákuum-asszisztált nyitott sebkezelés. Széles spektrumú antibiotikum és LMWH adása.

Evakuáció 48 órán belül Luftwaffe légihídon az anyaország Role 4 ellátó kórházába további kezelésre, bőrpótló műtétre.

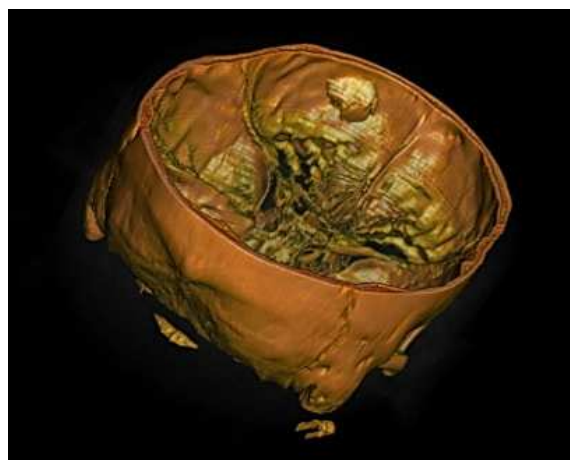
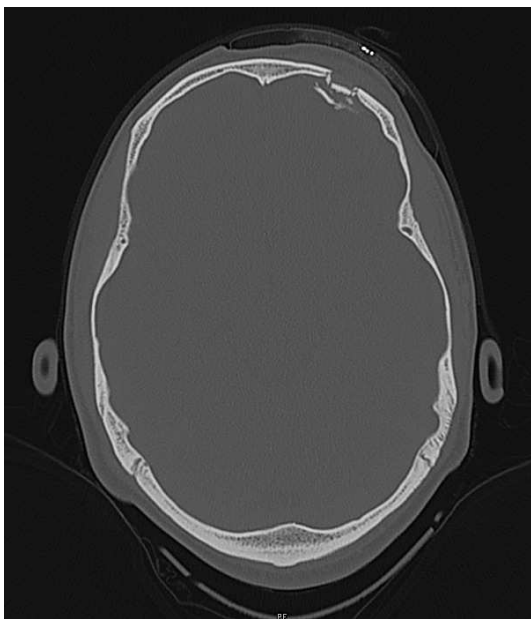


7. ábra. Páncélozott jármű elleni RPG támadás (a szerző felvétele).

ISAF, 2010.01.30. Kunduz

Esemény: PRG támadás. A lövedék célt tévesztve a jármű előtt a földre csapódva robbant, a járműből kiszálló 22 éves ISAF katona másodlagos repesztől származó behatoló homloktáji koponyasérülését okozva.

A sérültet azonnali éjszakai helikopteres légiszállítással Role 2+ MeS tábori kórházba szállították. A beteg tudata megtartott volt, GCS: 15. Koponya CT vizsgálata után craniotomia útján az impressio megszüntetését és repesztávoltást végeztünk. A beteg később fennjáró állapotban repatriálásra került.



8. ábra. Repesztől származó impressziós koponyatörés CT és 3DCT képe (a szerző felvétele)

ISAF, 2010.02.07. Baghlan tartomány

Esemény: Kettős RPG támadás magyar ISAF páncélozott gépjármű ellen. Egy lövedék célt tévesztett, a másik a jármű páncélzatán kívül robbant. A bent ülő két magyar katona sérüléseit a szélvédő üvegeből származó repeszek okozták. A katonák a járműben repeszálló mellényt és sisakot viseltek, így csupán felső végtagjaikon és arcukon szenvedtek sérüléseket. A rossz időjárási viszonyok miatt a sérülteket helikopterrel a legközelebbi, Role 2+ Kunduz ellátó helyre szállították. RTG kivizsgálásuk negatív eredménnyel zárult, sebeik ellátása itt a primer műtét során megtörtént.

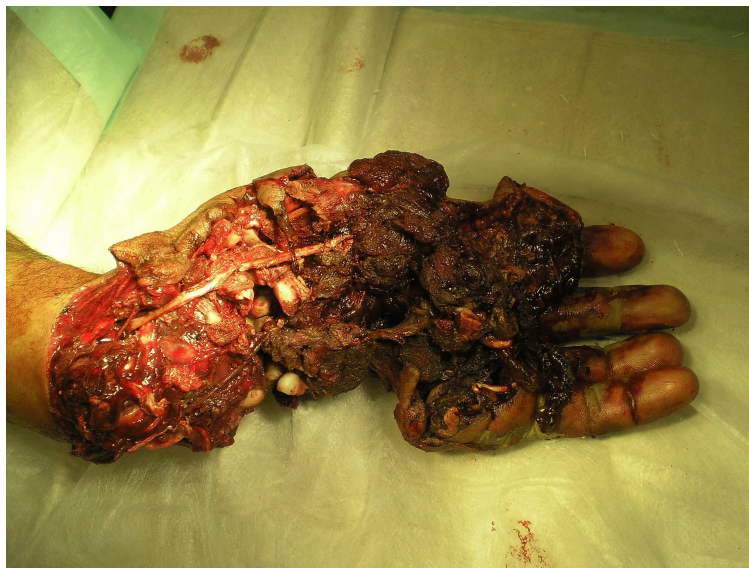
ISAF, 2008.12.31. Mazar e Sharif

Esemény: valószínűleg ipari robbantáshoz használt iniciáló töltet felrobbanása helyi munkás kezében Role 2+ MeS ellátási körzetében. Az áldozat 32 éves férfi, bal csuklótáji subtotalis amputatiót, a jobb kéz I. kézközépcsont nyílt törését és mindkét szem repeszszérülését szenvedte. Beszállítás: civil személygépkocsival előzetes egyeztetés nélkül.

Role 2+ MeS

Stabil beteg. Kivizsgálás: Fizikális vizsgálat. MRTG negatív. Jobb kéz 2 ir. RTG: az I. kézközépcsont elmozdult darabos törése. Szemészeti vizsgálat: felületes mindkét oldali szaruhártyasérülés. Azonnali műtéti kezelés: a bal alkaron csuklótáji amputatio befejezése, a jobb I. metacarpus velőúrsínezése K-dróttal. Széles spektrumú antibiotikum adása.

Egy hét elteltével békés sebviszonyok mellett otthonába bocsájtása megtörtént. Fémkivétel 6 hét múlva Role 2+ MeS-ben történt.



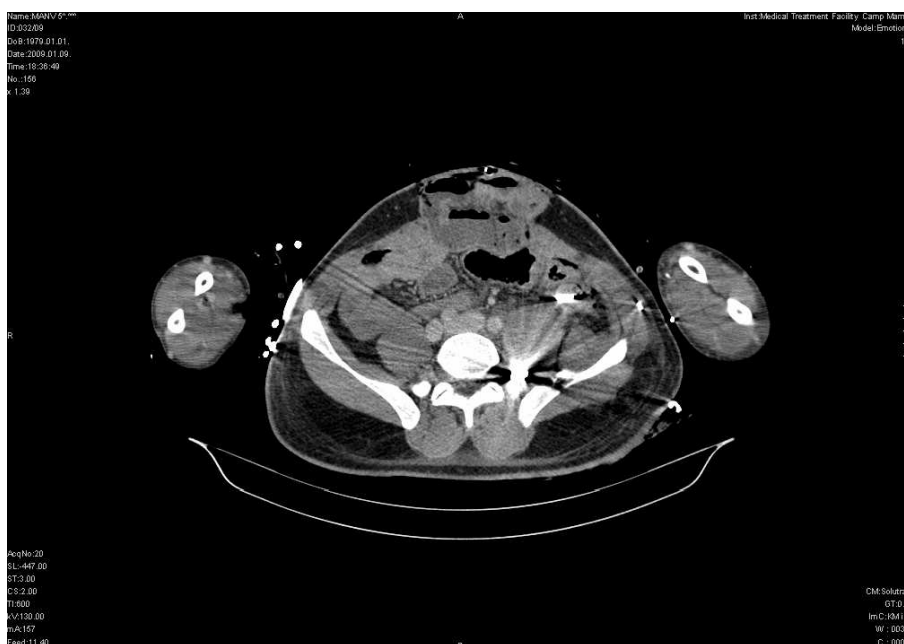
9. ábra. Iniciáló töltet robbanása okozta kéz amputatio (a szerző felvétele).

ISAF, 2009.01.09. Kandahar

Esemény: kettős öngyilkos merénylet piactér közelében ISAF gépjárműoszlop ellen. 4 halott a helyszínen, 1 szállítás közben, 1 Role 2+ ellátó helyen 3 nappal később. 22 ISAF és polgári sérült. Role 2+ MeS 2 súlyos és 3 könnyű polgári sérültet kapott. Valamennyi sérült férfi, pontos életkoruk ismeretlen, 15-30 év között.

Role 1+ Kandahar

Az 1. sérült CT kivizsgálása során a bal medencelapáton keresztül áthatoló hasúri sérülés volt látható. Valamennyi sérülését repeszek okozták. Damage control surgery során laparotomiát és vékonybél-resectiót valamint a többszörös, valamennyi végtagot érintő repeszszérülés miatt sebkimetszéseket hajtottak végre. A hasüreg zárható volt.



10. ábra. A medencelapáton keresztülhaladó áthatoló sérülés CT képe (a szerző felvétele).

A 2. sérült testfelszínének 55 %-án harmadfokú égést szenvedett, primer necrectomia és hegkímetszés történt. CT vizsgálata negatív volt.

A további három könnyű sérült sebellátásban részesült. Ezt követően légiszállítás történt Role 2+ MeS ellátó helyre, előzetes egyeztetés után.

Role 2+ MeS

Átszállítás után MASCAL szerinti ellátás lépett érvénybe, a sérültsztyályozást a vezető aneszteziológus végezte. A betegekkel az első ellátó helyen végzett beavatkozásokat és diagnosztikus eredményeket tartalmazó részletes elektronikus dokumentáció érkezett. A sokktalanítást és a műtéti ellátást az 1. illetve 2. számú trauma team végezte. Az 1. sérült megismételt teljes test trauma scan CT vizsgálatokor a bal medencelapát törését, a bal lateralis femurcondylus darabos törését és a bal lábközépcsontok többszörös törését észleltük. Valamennyi törés nyílt volt, azokat repeszek okozták. A mellkasi lelet negatív volt. Azonnali second look műtéti ellátás történt, mely során relaparotomia alkalmával sigmoideostomiát végeztünk.



11. ábra. Medencelapáton áthatoló hasúri sérülés kezelése (a szerző felvételei).

A medencelapát és lábközépcsontok töréseibe antibiotikum tartalmú lánc került, a bal térdízület feltárása és szívó-öblítő kezelése szintén megtörtént. A bal Achilles-ín régió sebéen és később a törött medencelapát feletti seben vákuum asszisztált nyitott sebkezelést alkalmaztunk. Az Achilles-ín 7 cm hosszan hiányzott, rekonstrukciója nem volt lehetséges. Széles spektrumú antibiotikus kezelés, LMWH profilaxis indult. Tetanus elleni védelemben részesült. Mindennek ellenére a sebekből bakteriológiai vizsgálattal MRSA, ESBL és Acinetobacter baumannii volt kimutatható, bár lokális gyulladásos jelet sehol sem észleltünk. A fentiek miatt a beteget elkülönítettük. Láztalanná válása után a bőrhiányok félvastag bőrrel

való fedését több ülésben megkezdjük. A bal alsó végtagot magas gipszszínen rögzítettük. A fentieket követően a beteget 5 héttel később a kandahari polgári kórházba áthelyeztük.



12. ábra. Achilles-ín táji sérülés kimetszése, vákuumasszisztált szívókezelése, majd bőrpótlása (a szerző felvételei).

A 2. sérült megismételt egész test CT vizsgálata negatív volt. A képet a súlyos égés uralta. A beteg kihűlt állapotban volt, testhőmérséklete az intenzív osztályos kezelés során nem emelkedett 34 °C fölé. Naponta kötéscsere történt, az első alkalommal a nagyfokú feszülés miatt a bal lábszáron és combon fasciotomia került végrehajtásra. A beteg a 4. napon meghalt.



13. ábra. Súlyos égett sérült intubálása, fasciotómiája és sebkezelése (a szerző felvételei).

A további három sérült további konzervatív kezelésben részesült, majd otthonába távozott.

ISAF, 2009.01.21. Baglani Jadid

Esemény: öngyilkos merénylet robbanása esküvői tömegben.

Role 2+ MeS

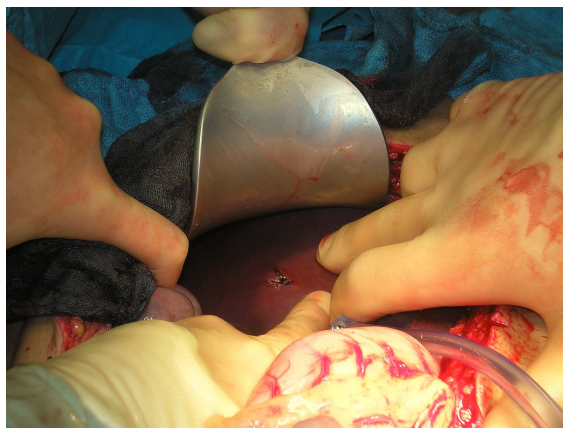
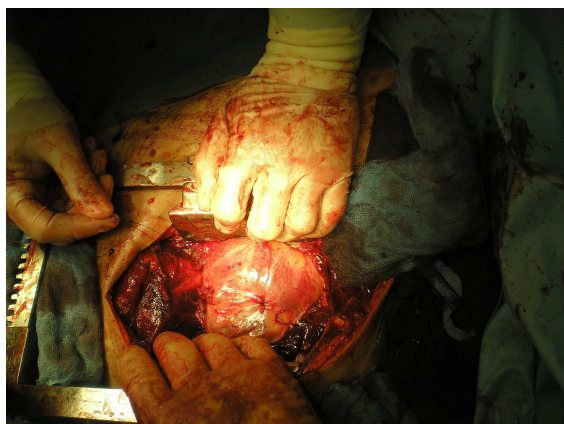
Az 1. sérült 49 éves férfi hasi és mellkasi áthatoló repeszszérülést szenvedett. A beszállítás a Role 2+ MeS ellátó helyre a sötétségre való tekintettel polgári mentőgépkocsival (200 km), előzetes egyeztetés után történt.

A beszállításkor stabil beteg fizikális vizsgálata után teljes test trauma scan CT vizsgálat történt, mely során májban és mellüregben közvetlenül az aorta előtt idegentestek voltak észlelhetők.



14. ábra. A szív és a máj repesz sérülésének CT képe (a szerző felvételei).

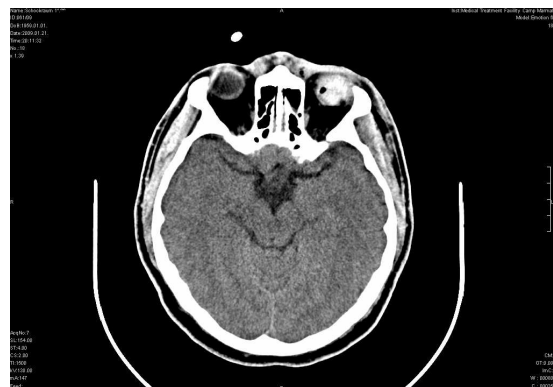
A hasfalán látható 1 cm-es és mellkasfalán látható 0.5 cm-es sebzéseken kívül egyéb külsérelmi nyom nem volt. Időközben pericardialis tamponád tünetei alakultak ki s az azonnali pericardiocentesis során friss vér volt nyerhető. Az azonnali sternotomiából végzett thoracotomia során a jobb kamra elülső és hátsó falán áthatoló sérülést észleltünk, melyek varrata megtörtént. A kamra és az aorta között elhelyezkedő idegentestet helyben hagytuk. A mellkas zárása után végzett laparotomia során a májból eredő vérzés csillapítása vérzéscsillapító szivaccsal történt, a mélyen a parenchyma állományában lévő idegentest nem került eltávolításra. A hasüreg primeren zárható volt.



15. ábra. A jobb szívkamra és a máj repesz sérülése, előbbi varratta (a szerző felvételei).

A 2. sérült, 43 éves férfi, egyidőben, azonos módon került beszállításra. Ezen áldozat volt a merénylet célpontja, a robbanásakor az elkövetőtől 2 m-re tartózkodott. Áthatoló hasi, bal szem- és többszörös végtagi repesz sérülést szenvedett.

A stabil beteg egész test trauma scan CT vizsgálata során a hasüregben, a végtagi lágyrészekben és a bal szem üvegtestjében többszörös repeszek voltak láthatók.



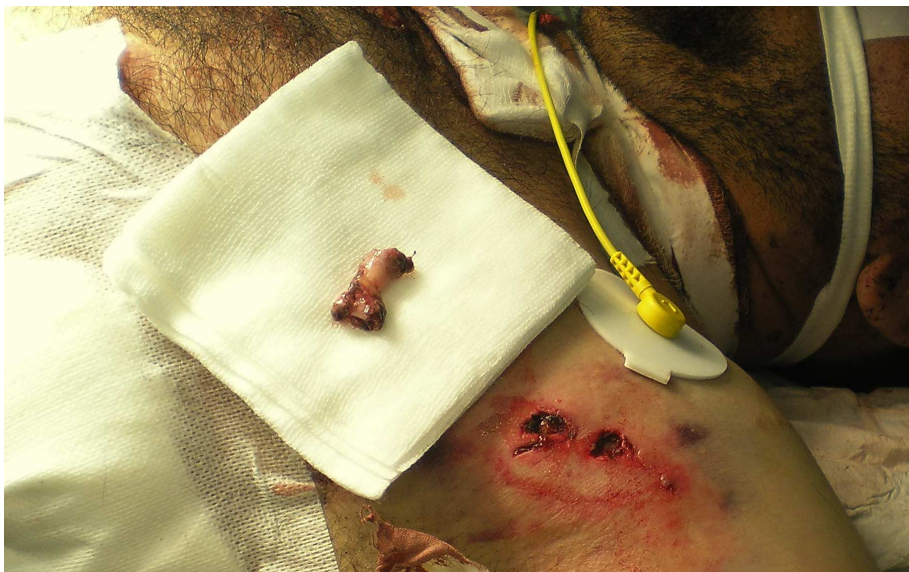
16. ábra. Repeszek a hasüregben, a combban, a vállban és a szemben (a szerző felvételei).

A mellkasi lelet negatív volt, ennek ellenére megelőzően profilaktikus bal oldali mellkascsővezés történt. Az akut laprotomia során a vékonybél falának többszörös perforáló repesz sérülését észleltük, emiatt vékonybélresectio és coecostomia történt. Jelentős vérzés nem volt, a hasüreg zárhatóknak bizonyult.



17. ábra. A vékonybél perforáló repeszszérülése (a szerző felvétele).

A bal váll elülső régiójában lévő sebből a merénylő egyik ujjpercének csontját távolítottuk el, mely másodlagos repeszként fertőző betegségek átvitelében játszhat szerepet. 24 óra elteltével második ülésben a roncsolt bal szem enucleatioja történt.



18. ábra. Öngyilkos merénylő ujjperce az áldozat vállában (a szerző felvétele).

A műtéti ellátást követően mindkét beteg intenzív osztályos elhelyezést nyert. Széles spektrumú antibiotikus, tetanus- és LMWH profilaxis történt. A betegek állapota a posztoperatív szakban végig stabil volt és extubálásuk után a helyi ANA (Afghan National Army) kórházba helyeztük át őket.

ISAF, 2010. 01.13. Kunduz

Esemény: Kunduz térségében ISAF ellenőrző pontnál történt incidens. A sérült 32 éves férfi az ellenőrző pontot áttörni szándékozó ellenséges érzelmű személy volt, aki bal lábszárának lövéstől származó nyílt törését és bal oldali mellkasi behatoló repeszszérülést szenvedett.

A sérültet először a helyi polgári kórházba szállították, ahol robbanástól és lövéstől származó sebeinek varratát végezték, amely a sebellátás szabályaival ellentétben áll. Profilaktikus

célből mellkasi szívódraint helyeztek be, mely a mellkasfalba került. A sérültet ezt követően szállították a Role 1+ Kunduz ellátó helyre, ahol lábszártörésének külső rögzítővel való ellátását végezték. A mellkasi seb revíziója nem történt meg, így a behatoló sérülés továbbra sem került felismerésre (a mellkasi RTG felvételen PTX akkor még nem volt látható). Légi szállítás után a sérüléstől számított 48 óra elteltével került Role 2+ Mes kórházba. Itt az azonnal elvégzett mellkasi CT vizsgálattal teljes bal oldali PTX igazolódott. Kiegészítő mellkasi szívódraint helyeztünk be és a mellkasi seb revízióját végeztük. Ekkor észleltük, hogy a sérülés a mellüregbe hatol, így thoracotomiát végeztünk, mely során a mellkasból repeszdarabokat és a törött bordák fragmentumait távolítottuk el. A mellkast zártuk, a sebet nyitva kezeltük. Másodlagos sebzés és a mellkasi szívókezelés megszüntetése CT kontroll mellett 6 nap múlva történt, ekkor a beteget rendőri felügyelet mellett polgári kórházba helyeztük át.



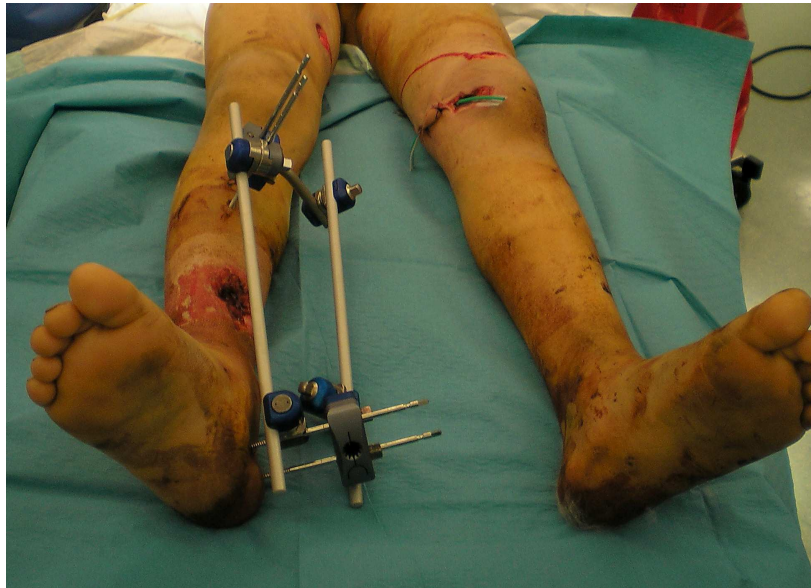
19. ábra. Behatoló mellkasi repeszszérülés CT képe (a szerző felvétele).

ISAF, 2010.01.31. Maymaneh

Esemény: rögtönzött robbanó szerkezet (IED) készítése közben bekövetkezett robbanás. A sérült elmondás szerint 13 éves fiú (biológiai kora 8-9 évesnek becsülhető). A sérült véletlenül felnőtt segítségével robbanó szerkezetet próbált készíteni, melyet valószínűleg ISAF jármű ellen vetettek volna be. A robbanó szerkezet orosz aknagránát volt.

A beteg elsődleges ellátását Role 1+ Meymaneh ellátó helyen végezték, ahol jobb oldali nyílt lábszártörés miatt sebészeti ellátás és külső rögzítő behelyezése történt. A bal medialis tibiacondylus repesz okozta ízületbe hatoló törése miatt a térdízület megnyílt, mely az elsődleges ellátó helyen nem került felismerésre. A bal könyökcsukló mély repeszszérülését kimetszték.

Légi szállítást követően a beteg Role 2+ MeS ellátó helyre került, ahol további sebészeti ellátását a sérüléstől számított 24 órán belül folytattuk. A megismételt mellkasi RT felvételen tüdőszérülés nem volt látható. A térdízület szívódrainnal való ellátását és a repesz okozta sebek vákuum asszisztált szívórendszerrel való kezelését végeztük. A sebek 6 nappal később másodlagosan zárhatóak voltak. A beteget további kezelésre helyi civil kórházba helyeztük át. A sérült és családja ellenséges érzelműnek mutatkozott, így ellátása fokozott katonai rendészeti felügyelet mellett zajlott.



20. ábra. Aknagránát okozta sérülések. Hiba a bal térdizület feltárásának hiánya és a beható sérülés fel nem ismerése az elsődleges ellátásban (a szerző felvétele).

ISAF, 2009.02.04. Mazar e Sharif

Esemény: tüzhelyen használt gázolaj belobbanása zárt szobában. A sérült 9 éves leánygyermek testfelületének 100 %-án harmadfokú lángégést és súlyos légúti égést szenvedett. A helyi mentőszolgálat a helyi polgári kórházból fájdalomcsillapítás, légút- és vénabiztosítás nélkül, előzetes egyeztetés alapján szállította Role 2+ MeS ellátóhelyre.

Itt azonnal intraosseális technikával végrehajtott fájdalomcsillapítás és folyadékpótlás történt, minthogy a súlyosan megégett és oedemás kültakarón át ez hagyományos technikával nem volt lehetséges. Az extrém mértékben megégett és ödémás légutakon át az intubálás negyedik kísérletre a legkisebb átmérőjű tubussal volt kivihető. A gyermek a beszállítást követően két órával exitált.



21. ábra. Gázolaj robbanásában súlyosan megégett gyermek (a szerző felvétele).

ISAF, 2009.02.16. Mazar e Sharif

Esemény: IED robbanása egy évvel azelőtt. A sérült 32 éves férfi harmadlagos mechanizmussal jobb lábszártörést szenvedett, melyet nem kezeltek. A beteg CIMIC együttműködés keretein belül a közeli falvakban végzett orvosi ellátás során került látótérbe.

Role 2+ MeS

A jobb lábszár állízülete és nagyfokú deformitás miatt a faluból történt előjegyzés alapján kivizsgálás és előkészítés után az állízület felfrissítését, spongiosaplasticát és DC lemezes osteosynthesist végeztünk. Ezen ellátási szinten limitált mennyiségben a helyi lakosság számára rekonstrukciós sebészeti ellátásra is lehetőség nyílt.



22. ábra. Tibia állízület kezelése (a szerző felvételei).

KFOR, 2006.12.05. Prizren

Esemény: benzin belobbanása zárt helyen. A sérült 4 éves fiúgyermek testfelületének 40 %-án égő üzemanyagtól másod-harmadfokú égést szenvedett. Primer ellátása a helyi polgári kórházban történt. Tekintve, hogy Koszovóban akkor betegbiztosítási rendszer nem működött, a betegek kezelésük költségeinek 100 %-át készpénzben fizették. Amikor tehát a család pénze elfogyott, a gyermeket a kórházból kiadták.

Role 2+ Prizren

A gyermek személyes ismeretség révén, septicus állapotban került a KFOR fenti kórházába. A sebváladék bakteriológiai tenyésztési lelete MRSA pozitív volt, emiatt a beteget elkülönítettük és antibiotikus kezelést kezdtünk. A heteken át naponta narkózisban végzett kötéscserék hatására sebei feltisztultak, szepszise megszűnt. Ezt követően a Magyar Baptista Szeretetszolgálat segítségével a beteg légi úton a budapesti Bethesda Gyermekkórházba került, ahol további gyógykezelése többszörös bőrátültetésekkel sikerrel folytatódott. A beteget gyógyulását követően otthonába visszaszállították.



23. ábra. Benzin robbanásából származó égési sérülés (a szerző felvétele).

Életkor,nem	Katona	Esemény	Sérülés	Ellátóhely	Kimenetel
28 év, ffi.	ISAF DEU	RPG	repezs: lágyrész, szem	Role 2+	repatriálva
23 év, ffi.	ISAF DEU	RPG	repezs: lágyrész	Role 2+	repatriálva
22 év, ffi.	ISAF DEU	RPG	repezs: koponya behatoló	Role 2+	repatriálva
27 év, ffi	ISAF DEU	detonátor robbanása	jobb kézsérülés, repezs: jobb szem	Role 1+ Role 2+	repatrálva
31 év, ffi	ISAF HUN	RPG	repezs: jobb alkar, arc	Role 1+ Role 2+	repatriálva
25 év, ffi	ISAF HUN	RPG	repezs: jobb kar, arc	Role 1+ Role 2+	repatrálva
30 körüli ffi.	civil	IED	repezs: hasi behatoló és lágyrész, csonttörések	Role 1+ Role 2+	javult
30 körüli ffi.	civil	IED	55 %-os III. fokú égés, repezs: lágyrész	Role 1+ Role 2+	meghalt
32 év, ffi.	civil	ipari iniciáló töltet	kéz amputatio nyílt törés	Role 2+	javult
49 év, ffi.	civil	IED	repezs: szív és máj behatoló	Role 2+	javult
43 év, ffi.	civil	IED	repezs: hasi és szem behatoló, lágyrész	Role 2+	javult
15 év körüli ffi.	civil	IED	repezs: lágyrész	Role 1+ Role 2+	gyógyult
17 év körüli ffi.	civil	IED	repezs: lágyrész	Role 1+ Role 2+	gyógyult
20 év körüli ffi.	civil	IED	repezs: lágyrész	Role 1+ Role 2+	gyógyult
20 év, ffi.	ANA	IED	repezs: lágyrész	Role 1+ Role 2+	javult
24 év, ffi	ANA	IED	repezs: mellkas behatoló	Role 2+	gyógyult
13 év, ffi ellenséges	civil	IED aknagránát	jobb lábszártörés, repezs: bal térdízület, bal könyöktáj	Role 1+ Role 2+	javult
31 év, ffi ellenséges	civil	ismeretlen robbanóanyag	bal lábszárörés, repezs: mellkas behatoló + PTX	Role 1+ Role 2+	javult
32 év, ffi.	Civil	IED	lábszártörés álízülettel	Role 2+	javult
9 év, leány	civil	gázolaj robbanása	100 %-os III. fokú égés, légúti égés	Role 2+	meghalt
4 év, fiú +	civil	benzin robbanása	40 %-os II-III. fokú égés	civil kh. Role 2+	gyógyult

1. táblázat. Műveleti területen ellátott sérültek. 2008-10 MeS, +2007 Prizren.

3.1.4. Robbanás következtében életüket vesztek vizsgálat

A robbanások közelében tartózkodók igen súlyos, nemritkán azonnali halállal járó, étellel összeegyeztethetetlen sérülést szenvedtek. Az általam Afganisztánban vizsgált esetek halottainak egy része maga az öngyilkos merénylő, más része a merénylő közelében tartózkodó civil vagy katona személy volt. Az események rendőrség épületében zárt helyen történt öngyilkos merénylet, pácélozott katonai jármű ellen személygépkocsival végrehajtott öngyilkos robbantás, gépkocsikonvoj elleni egy időben két tehergépkocsival végrehajtott öngyilkos támadás és esküvőn, zárt térben végrehajtott öngyilkos robbantás voltak. Különleges esemény volt egy alkalommal harckocsi elleni robbantás fenéklemez elleni aknával, mely a vezető halálát okozta. Egy esetben a merénylő a robbanó szerkezetet idő előtt hozta működésbe.

Életkor, nem	Esemény	Sérülés	Színhely	Kimenetel
37 év, ffi.	IED	többszörös repesz	Baglani Jadid	helyszínen meghalt
31 év, ffi.	IED	többszörös repesz, amputatio	Baglani Jadid	helyszínen meghalt
35 év, ffi.	IED	többszörös repesz: fej, mellkas, has	Baglani Jadid	meghalt Role I-n
22 év, ffi	hackocsiakna	túlnyomás + többszörös repesz	Maymaneh	járműben meghalt

2. táblázat. Műveleti területen robbanás helyszínén életüket vesztt katona sérültek (2008-10, ISAF).

Életkor, nem	Esemény	Sérülés	Színhely	Kimenetel
30 év körüli ffi.	gk. robbantás, öngyilkos merénylő	szétszakíttatás	Baglani Jadid	helyszínen meghalt
ismeretlen, ffi.	IED konvoj ellen	többszörös amputatio	Kandahar	helyszínen meghalt
ismeretlen, ffi.	IED konvoj ellen	többszörös repesz: fej, mellkas, has	Kandahar	helyszínen meghalt
30 év körüli ffi.	IED, öngyilkos merénylő konvoj ellen	szétszakíttatás, többszörös amputatio	Kandahar	helyszínen meghalt
20 év körüli ffi.	IED, öngyilkos merénylő konvoj ellen	Szétszakíttatás, többszörös amputatio	Kandahar	helyszínen meghalt
40 év körüli ffi.	IED konvoj ellen	amputatio, többszörös repesz: mellkas, has	Kandahar	meghalt szállítás közben
ismeretlen, ffi.	IED, öngyilkos merénylő esküvőn	szétszakíttatás	Baglani Jadid	helyszínen meghalt
35 év körüli ffi	IED, öngyilkos merénylő rendőrsőn	szétszakíttatás	Baglani Jadid	helyszínen meghalt
4 év körüli fiúgyermek	IED rendőrsőn	Súlyos tüdőszérülés, többszörös repesz	Baglani Jadid	helyszínen meghalt
30 év körüli ffi	IED idő előtt	szétszakíttatás	Pol e Khomri	helyszínen meghalt

3. táblázat. Műveleti területen robbanás helyszínén életüket vesztt civil sérültek (Afganisztán, 2008-09).



24. ábra. Halált okozó szétszakítással. Öngyilkos merénylő (a szerző felvételei).

3.1.5. Műveleti területen szerzett tapasztalataim összegzése

A robbanásos sérülések közül leggyakoribb volt a repeszek okozta másodlagos robbanásos illetve a negyedleges égési sérülés. A túlélőkön robbanásos túlnyomás kapcsán létrejött tüdőszérülést nem észleltünk, az elsődleges mechanizmus egy alkalommal vezetett felső végtagi amputációhoz. Harmadlagos, nekiütődéstől származó, csonttöréssel járó sérülést egy esetben észleltünk, a töréseket (medence, gerinccsigolyák, végtagi csontok) többnyire repeszek okozták.

Sérülés	Előfordulás	Arány (%)
Testüregbe hatoló repesz	6	28.7
Lágyrész repesz	12	54.4
Csonttörés	4	19
Égés	3	14.3
Amputatio	1	4.7

4. táblázat. Robbanás okozta sérüléscsoportok megoszlása műveleti területen (Afganisztán, Koszovó).

Az azonnali halálozásért a robbanásos túlnyomás okozta súlyos tüdőszérülés valamint a többszörös amputációk, az ellátás során bekövetkezett halálozásért a testüregbe hatoló repeszek hatása (máj, lép, vese) és a kiterjedt égés volt felelős.

Robbanóeszköz	Előfordulás	Arány (%)
IED	12	57.2
RPG	5	23.8
Iniciálós v. egyéb töltet	3	14.3
Üzemanyag robbanása	1	4.7

5. táblázat. Műveleti területen sérülést okozó robbanóeszközök (Afganisztán, Koszovó).

A harci cselekmények során bekövetkező robbanásokat leggyakrabban RPG támadás valamint öngyilkos merénylő által felrobbantott IED okozta. A nem harci eredetű robbanások üzemanyag belobbanásakor jöttek létre. A polgári lakosság gyakran használ különböző

üzemanyagokat házi készítésű kályhákkal történő fűtésre s ezek számos balesetet okoznak. Ezen baleseteknek jellemző módon igen sok gyermek sérültje van.

	IED	RPG	Egyéb töltet	Üzemanyag
Testüregbe hatoló repesz	5 (23.8 %)	1	-	-
Lágyrész repesz	7 (33.3 %)	4 (19 %)	1 (4.7 %)	-
Csonttörés	3 (14.3 %)	-	-	-
Égés	1 (4.7 %)	-	1 (4.7 %)	2 (9.4 %)
Amputatio	-	-	1 (4.7 %)	-

6. táblázat. Az egyes robbanószerkezetek által okozott sérülések műveleti területen (Afganisztán, Koszovó).

A sérültellátásban működő trauma teamek igen hatékonyak bizonyultak mind az ellátás sebességének, mind színvonalának tekintetében. A damage control surgery elvei messzemenően és jó hatásfokkal kerültek alkalmazásra olyan esetben is, amikor az ellátás első és második fázisát térben eltérő helyen és különböző trauma teamek által végeztük. A két fázisban szereplő személyzet között sem vizuális, sem verbális kontaktus nem volt. A jó hatásfok annak volt köszönhető, hogy a nemzetközi kötelékben részt vevők azonos szakmai elvek alapján végezték feladatukat és az információáramlás az elektronikus adatrögzítőkön szereplő betegdokumentáció tekintetében jónak bizonyult. Mindez megerősítette azt, hogy lényegre szorító, de kellően részletes dokumentációra az ellátás minden szintjén szükség van.

Az elsődleges ellátásban az elkövetett hibák közül megemlíthető a sebellátás szabályainak be nem tartása afgán részről, ez esetben az első ISAF ellátóhelyen nem történt meg a varratok eltávolítása és a repeszszérülés nyitva kezelése. A második hiba ez esetben a nyílt beható mellkassérülés fel nem ismerése és műtéti megoldásának elmaradása az elsődleges ellátás során. A második esetben a nyílt térdízületi sérülés nem került felismerésre és ellátásra Role 1+ szinten. A hibákat sebészileg valamennyi esetben Role 2+ MeS szinten javítottuk ki.

3.2. Sérültellátás békeidőben

Ezen fejezetben a békeidejű ellátásban Magyarországon szerzett tapasztalataim kerülnek leírásra. A prehospitális szakban az Országos Mentőszolgálattal való együttműködés, a hospitális szakban a MH Központi Honvédkórház illetve később HM Állami Egészségügyi Központ baleseti ügyeleti csoportjának tagjaként végzett tevékenység szolgált a leírtak alapjául.

3.2.1. Prehospitális ellátás

Robbanásos események sérültjeinek ellátását békeidőben a földi és légi mentőszolgálatok végzik. Gyakran van szükség speciális mentők illetve műszaki mentés igénybevételére a sérültek hozzáférhetővé tétele céljából. Tömeges sérültellátási kényszer esetén polgári katasztrófaelhárítási tervet kell érvénybe léptetni.

A tevékenységi kör hasonló a műveleti területen végzendőkkel azzal a különbséggel, hogy az ön-és kölcsönös segély illetve a „combat medic” tevékenységi köre hiányzik. Utóbbit a mentőegység veszi át kibővített formában.

3.2.2. Hospitális ellátás

Békeidőben a sérültek a mentőszolgálatok által általában a felvételes ügyeletben lévő végleges kórházi ellátó helyre kerülnek, ahol lehetőség nyílik valamennyi sebészi beavatkozásra, beleértve a definitív ellátást is. A tevékenységi kör az előző fejezetben leírt Role 1-4. szinteknek felel meg egy intézményen belül.

3.2.3. Esetismertetések és ellátási forgatókönyvek

2001.10.02. Budapest

Esemény: tűzszerészeti baleset, II. világháborús akna robbanása hatástalanítás közben. A sérült 31 éves férfi hasfalán, mindkét csuklóján és lábszárán szenvedett repeszszérüléseket. Katonai mentővel, stabil állapotban, ügyeleti időn kívül került beszállításra a MH Központi Honvédkórház Baleseti Sebészeti Osztályára. Az elvégzett AP mellkas RTG és AP medence RTG felvételei ill. a hasi UH vizsgálat negatívak voltak. 2 irányú mindkét csukló felvételén mindkét orsócsont distalis vég darabos törése volt látható. Az akut műtét során a hasfali sebek kimetszését és laparoscopos beavatkozást végeztünk, mely alkalmával behatoló sérülést nem észleltünk. A jobb csukló tűződrótos, a bal csukló tűződrótos és fixateur externe-nel végzett osteosynthesise illetve a lábszársebek kimetszése és az idegentestek eltávolítása megtörtént. Intenzív osztályos kezelés nem volt szükséges, a beteg gyógyult.



25. ábra. Hasfali másodlagos és csukló harmadlagos sérülés. Tűzszerész baleset (a szerző felvétele).

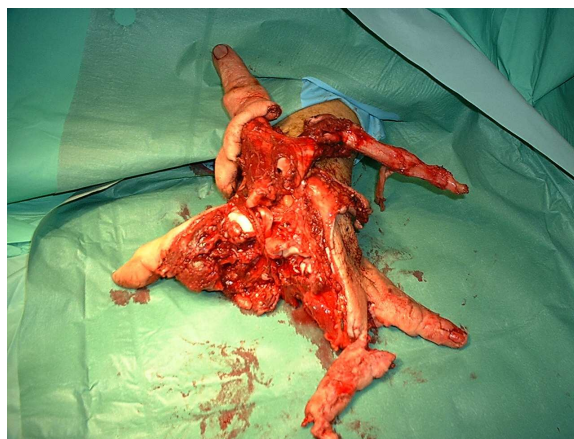
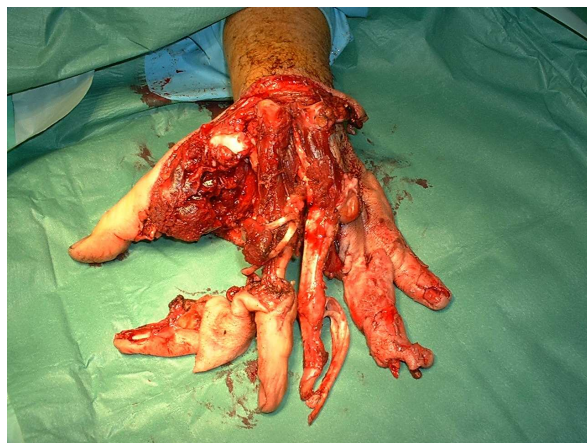
Életkor, nem	Esemény	Sérülés	Ellátóhely	Kimenetel
23 év, ffi.	Aknavető csőrobbanás	repsz: L gerinccsigolya- és combcsonttörés	MH KHK	Gyógyult
31 év, ffi.	Akna	repsz: hasfal, mko. Radiustörés	MH KHK	Gyógyult
28 év, nő	kézigránát	Kéz polytraumatisatio	MH KHK	Gyógyult
33 év, ffi.	Tűzszerész baleset	repsz: a. axillaris és plexus sérülés	MH KHK	Javult
29 év, ffi.	Tűzszerész baleset	repsz: lágyszár, ulna- és tibiatörés	MH KHK	Gyógyult
26 év, ffi.	IED után	repsz: n. ulnaris sérülés	Role 2+ HM ÁEK	Javult

7. táblázat. Katonai baleset kapcsán Magyarországon ellátott sérültek (1992-2008).

2002.04.26. Budapest

Esemény: amatőr vegyész otthonában végzett kísérlete során bekövetkezett kémiai robbanás. A 23 éves férfi sérült mindkét kéz csuklótáji amputációját, bal oldali elmozdulás nélküli intercondylaris femurtörést, a bal szemhéj és mindkét alsó végtag többszörös repesz sérülését, valamint az arc és az elülső mellkasfal első-másodfokú égését szenvedte.

Az Országos Mentőszolgálat által stabil állapotban, ügyeleti időben került beszállításra a MH Központi Honvédkórház Baleseti Sebészeti Osztályára. Radiológiai kivizsgálása során a bal femur elmozdulás nélküli intercondylaris törését észleltük, melyet konzervatívan kezeltünk. Az elvégzett AP MRTG és AP medence RTG, valamint a hasi UH eredménye negatív volt. A primer műtéti ellátás során mindkét felső végtag csuklótáji amputációját és valamennyi repesz által okozott seb kimetszését végeztük. 6 nap elteltével békés sebviszonyok mellett a keletkezett bőrhiányok rácsplasztikával való sikeres fedése megtörtént. A beteget rehabilitációs kezelésre bocsájtottuk.



26. ábra. Kémiai robbanás során bekövetkezett mindkét kéz subtotalis amputatio (a szerző felvétele).

Életkor	Esemény	Sérülés	Ellátóhely	Kimenetel
37 év, ffi.	Gk. robbantás	repesz: lágyrész, 20 %-os I-II. fokú égés	MH KHK	meghalt
23 év, ffi.	Kémiai robbanás	repesz: lágyrész, szem, mk. Kéz amputatio	MH KHK	javult
18 év, ffi.	Csőbomba	repesz: lágyrész	MH KHK	gyógyult
32 év, ffi.	Petárda	súlyos kézsérülés, amputatio	HM ÁEK	javult
35 év, ffi.	Petárda	kézsérülés	HM ÁEK	gyógyult
21 év, ffi.	Petárda	súlyos kézsérülés	MH KHK	gyógyult
19 év, ffi.	Ismeretlen robbanóanyag	súlyos kézsérülés, ujj amputatio	HM ÁEK	gyógyult

8. táblázat. Békeidőben Magyarországon ellátott civil sérültek (1992-2008).

3.2.4. Békeidőben szerzett tapasztalataim összegzése

A sérültellátásban a műveleti területhez képest a különbséget az jelentette, hogy a sérültek azonnal a végleges ellátó helyre kerültek, azaz a primer ellátástól a rekonstrukciós beavatkozásokig kezelésüket ugyanazon intézmény végezte.

A sérülések nagy része repeszektől származó lágyrészsérülés illetve a bőr felületes égése volt. A túlnyomás okozta sérülések közül a felső végtagi amputatio emeledő ki. A csonttöréseket a test hirtelen hely- és helyzetváltozása okozta. A petárdarobbanások szintén felső végtagi, elsősorban súlyos kézsérülést okoztak.

A halálozással járó esetben súlyos, ömragában az életet veszélyeztető sérülés nem volt észlelhető, azért valószínűleg toxikus sokk szindróma valamint sokszervi elégtelenség volt felelős.

3.2.5. A saját tapasztalataim alapján levont következtetések

A robbanásos sérültek ellátására magyar nyelvű szakmai útmutató nem állt rendelkezésre, ezért a szükséges információkat a nemzetközi szakirodalomban található adatokra támaszkodva szereztem meg. Ekkor vetődött fel a kérdés, hogy a témakörben egységes, magyar nyelvű szakmai anyagot készítek, mely egyrészt a műveleti területen illetve békeidőben megszerzett tapasztalataimra, másrészt az általam feldolgozott és összesített szakirodalomra épül. Ehhez volt szükséges, hogy a nemzetközi irodalmi adatokat rendszerezem és egységes elméleti összefoglalást hozzak létre, melyben a robbanások alapfogalmai és fajtái, az általuk okozott sérülések valamint azok ellátása kerülnek ismertetésre.

4. A robbanások élő szervezetre kifejtett hatásai

4.1. A robbanásos sérülések jellege

4.1.1. A robbanások biológiai hatásai

Minden olyan sérülést robbanásos sérülésnek tekintünk, amely a robbanás közvetlen és közvetett hatásai következtében jön létre.

4.1.1.1. Közvetlen biológiai hatások

Az első és legfontosabb, **közvetlen hatás** a környezeti nyomás megváltozása. A robbanás keltette nyomásváltozás, a **túlnyomás**, az emberi szervezetre és a test egészére áterjedve, annak minden szövetére hat. A nyomás megváltozására a gázok összenyomhatósága miatt leginkább a légtartalmú szervek érzékenyek (tüdő, gyomor-bélrendszer, hallószerv), de a nyomásváltozás bármely szövet állapotára befolyásoló hatással bír. Az egyes szövetek fizikai tulajdonságai eltérőek, így a nyomásváltozás is eltérően befolyásolja azok állapotát. A nyomásváltozás hatására bekövetkező szöveti elmozdulás nagysága és sebessége (a szövetek gyorsulása) eltérő, így a szövethatárok mentén komoly sérülések keletkezhetnek.

A robbanásban létrejövő **vibrációnak** az emberi szervezetre kifejtett biológiai hatásait alapvetően annak frekvenciájával lehet megítélni ^[23]. A létrejövő változásokat ezen kívül befolyásolja a rezgés amplitúdója, a hatás ideje és iránya. A szervezetet érő, tartós károsodást nem okozó frekvenciatartomány 0.3-8 Hz. Az emberi szervezet rezgésekre érzékeny frekvenciatartománya 15-1500 Hz. A hatások nagymértékben függenek a test helyzetétől, mozgásaitól, az izomzat tónusától és a test környezetétől (megtámasztás, közeg sűrűsége). Ennek alapján a 3-5 Hz közötti frekvenciatartományban az egyensúlyszerv zavara, émelygés léphet fel. 5-11 Hz között egyensúlyzavar, fülzúgás, izomrángás, 11-45 Hz között a gyomor-bélrendszer működésének elváltozásai, látászavarok jelentkehetnek. 45 Hz felett több szervrendszerre kiterjedő súlyos elváltozások alakulnak ki, melyek végül vibrációs betegséghez vezetnek ^[23].

Egyéb közvetlen hatások a nyomásváltozás következtében létrejövő **repszhatás**, a sérült testének **hely-és helyzetváltozása** valamint a robbanás keltette **hőhatás**. Ezek mellett az esetlegesen felszabaduló **kémiai** anyagok direkt szövetkárosító illetve **toxikus** hatása is számottevő lehet.

Az elszennvedett sérülések a távolságtól nagymértékben függenek. A robbanás epicentruma közvetlen közelében a hőhatás okozta égési sérülés szinte biztosan kialakul. Ettől kissé távolodva az epicentrum közelében a nyomásváltozás okozta elsődleges károsodások dominálnak, a centrumtól távolodva csökkenő mértékben. A legnagyobb sugárban a repeszek pusztítanak. Az általuk okozott sérülések a lövési sérülésekhez hasonlatosak, azzal a különbséggel, hogy a projektilek alakja, anyaga, mérete és kezdősebessége (600-1800 m/s) különböző. Az általuk okozott sérülés rendszerint többszörös, hiszen nagyobb számban érik a testfelületet és azon nagyobb területen fejtenek ki roncsoló hatást.

4.1.1.2. Közvetett biológiai hatások

A robbanás **közvetett hatása** lehet például épületekben bekövetkező robbanás esetén az összeomló épületrészek okozta sokféle egyéb sérülés. Az üvegszilánkok a repeszhatáshoz hasonlóan a robbanástól távolabb tartózkodó személyek különféle sérüléseit okozhatják. A betemetetés igen gyakori s a túlélők sokszor csak napokkal a robbanás után kerülnek kimentésre. A sérültek nagy száma jellemző ezen esetekre. Az eltelt idő függvényében igen jellemzők a kihűlés, a kiszáradás és a vérveszteség okozta tünetek.

Vegyí és nukleáris robbanás esetén a sérültek dekontaminációja azonnal megoldandó feladat. A robbanásos sérülésekről elmondható, hogy igen ritka a tisztán egyféle mechanizmussal létrejött, csupán egyféle csoportba tartozó elsődleges, másodlagos vagy harmadlagos sérülés, csaknem minden esetben többféle keletkezési mechanizmus **együttes hatásával** kell számolnunk, melyek összegződve összetett sérülésformákat okoznak.

Tekintettel arra, hogy a legtöbb áldozatot a szárazföldi telepítésű **aknák** szedik, nemcsak az aktív hadműveletek idején, de évtizedekkel azok megszűnt után is, fontos annak ismerete, hogy az egyes aknaféleségek milyen típusú sérüléseket képesek okozni.

4.1.1.3. Robbanások hatásai az ellátás szervezésére

Nagyszámú robbanásos sérült keletkezésével járó esetekben az egészségügyi intézmények katasztrófa tervének vagy a polgári katasztrófavédelmi terv életbe léptetésének szükségessége az esetszám és az ellátó kapacitás függvényében felmerül. **Tömeges sérültellátásra** kell áttérni miközben a sérülések legkülönbözőbb formáinak ellátása válik szükségessé. A sérültsztyálozásnak helyszínen és kórházi szinten egyaránt meg kell történnie ^[1].

Merényletek esetén az egészségügyi intézmények őrzés-védelméről is gondoskodni kell, hiszen az egészségügyi ellátó intézmények szintén terrortámadás célpontjai lehetnek. Többszörös robbantásos merénylet során a mentést végző személyzet is egy második robbantás célpontja lehet, tehát védelmének biztosítása a mentés megkezdése előtt szükséges. Műveleti területen végzett mentéskor ez fokozottan érvényes.

4.1.2. Robbanásos sérülések a hagyományos hadviselésben

A hagyományos hadviselésben a harci sérülések két leggyakoribb formája a lövési és a robbanásos sérülés. Utóbbiak légibombák, tüzérségi eszközök (ágyú, tarack, mozsár), gránátok, RPG, lőtt és telepített aknák illetve kézigránátok bevetése során jönnek létre.

Sérülés/fegyvertípus	II. világháború (%)	Vietnam (%)
Lőtt sérülés	33.3	30
Mozsár/aknavető	38.8	19
Tüzérségi lövedék	10.9	3
Gránát	12.5	11
Akna	1.9	17
RPG	-	12
Kevert	2.6	8

9. táblázat. A hagyományos fegyverek okozta sérülések megoszlása a II. világháború illetve a vietnami háború idején az USA haderejében. (Emergency War Surgery Third US Revision, 2004 nyomán)

A fenti táblázatból látszik, hogy a lövési sérülések aránya nagyságrendjében nem változott. A robbanás okozta sérülések esetében a hagyományos, klasszikus tüzérségi eszközök visszaszorulása látható, szemben az **aknák** okozta sérülések ugrásszerű növekedésével. A haditechnika fejlődésével az újabb típusú robbanó eszközök (RPG) okozta sérülések is megjelentek.

Típus	Robbanó szerkezet	Sérülés típusa
Hagyományos.	Gránát. Légibomba. Tüzérségi lövedék. RPG.	Bármelyik típus. Elsődleges és másodlagos repszésérülés gyakori.
Gyalogság elleni aknák.	Taposó- és botlóaknák. Ugróaknák.	Alsó végtagi amputáció. Kiterjedt, roncsolt és szennyezet sebek. Felső végtagi, mellkasi, arc- és szemsérülések.
Megnövelt hatású robbanó szerkezetek (enhanced blast weapon, EBW).	Üzemanyaggal megnövelt hatású robbanó eszközök (fuel air explosive, FAE).	A túlnyomás elsődleges tüdőszérülést okoz. A szétszórt üzemanyag és kémiai anyagok negyedleges és ötödleges mechanizmussal tüdőszérülést okoznak. Késleltetett károsító hatások.
Bombák és pokolgépek: terrorista robbanó szerkezetek.	Házi készítésű robbanó eszközök (improved explosive device, IED). Teherautó-, gépkocsi-, táska- , hátizsák-, levél- és csőbombák.	Alacsony mortalitás. Repszehatás. Betemettetés: crush szindróma. Elsődleges tüdőszérülés lehetőség. Emberi eredetű darabok betegségeket terjeszthetnek.

10. táblázat A különböző robbanó szerkezetek által okozott sérülések. (Horrocks CL: Blast Injuries: Biophysics, Pathophysiology and Management Principles. J R Army Med Corps, 2001; 147:28 alapján)

A hagyományos hadviselésben a robbanás okozta sérülések közül a projektíl- illetve repeszhatás a leggyakoribb, mely főleg a végtagokat érinti. Az alábbi táblázat ezen sérülések testtáj szerinti megoszlását mutatja.

Hadszintér	Fej- nyak	Mellkas	Has	Végtagok	Egyéb
I. világháború	17	4	2	70	7
II. világháború	4	8	4	75	9
Korea	17	7	7	67	2
Vietnam	14	7	5	74	-
Öbölháború	11	8	7	56	18
Afganisztán	16	12	11	61	-
Átlag	13.2	7.7	6	67.2	6

11. táblázat. A sérülések testtáj szerinti megoszlása különböző hadműveletekben az USA haderejében. (Emergency War Surgery Third US Revision, 2004 nyomán)

4.1.3. Robbanásos sérülések terrortámadások és merényletek során

A nem reguláris hadviselés során alkalmazott robbanó szerkezetek okozta sérülések alkalmával bekövetkező legfőbb halálok a **koponyasérülés** (50-70 %). A fejsérülést túlélők körében a sérülés a könnyű-középsúlyos kategóriába tartozik (98.5 %). A fejsérülések aránytalanul magas számban jelennek meg a test többi részéhez viszonyítva a fej és a teljes testfelszín viszonylatában ^[35]. A keletkezett sebzések az életet közvetlenül nem veszélyeztető lágyrész- és csontsérülések. A legtöbb súlyos sérült elsődleges robbanási sérülést szenved (blast lung) és a helyszínen azonnal életét veszti, ezért ezen sérüléstípus a túlélőkön viszonylag ritkán diagnosztizálható ^[13].

4.1.4. A robbanásos sérülések következményeit befolyásoló tényezők

A robbanások az emberi szervezetre és a környezetre kifejtett közvetlen és közvetett hatásai a robbanó szerkezet tulajdonságaitól, a robbanás térbeli helyétől, a sérült ehhez képest való elhelyezkedésétől és a sérültellátás színvonalától függnék ^[34].

Ilyen módon alapvetően lényeges a **robbanóanyag fajtája** és **menyisége**, amely elsődlegesen meghatározza a robbanás erejét (magnitúdóját), tehát a robbanásos túlnyomás nagyságát, annak hatásait. A robbanótestből vagy a környezetből származó **repszeképző** hatás a repesz-sérülés következményeinek szempontjából igen lényeges. A felszabaduló **hőenergia** keltette hő- és láng hatás illetve a forró robbanási gázok jelenléte a termikus sérülések szempontjából jelentős. A levegőbe adott esetben nagy mennyiségű por és füst jut, melyek belégzése a légutakat károsítja illetve fulladást okozhat.

A robbanás térbeli helye szempontjából lényegesek a **terepviszonyok** és az, hogy milyen **tárgyak** helyezkednek el a robbanás epicentruma és a sérült között. A robbanás következményeit alapvetően meghatározza, hogy a robbanás **nyílt** vagy **zárt** helyszínen következett be. Hasonlóképpen lényeges, hogy a robbanás lakott területen, épületek között vagy azon kívül történt. Az épületek részleges vagy teljes összeomlása a törmelék általi betemetetés miatt a robbanás következményeit súlyosbítja, megnehezítve a mentést is. Az áldozatok testének robbanáskori **helyzetváltozása** tompa sérüléseket eredményez.



27. ábra. Robbanás zárt térben (Pellek S. anyagából).

A sérült szempontjából a legfontosabb, hogy milyen **távolságban** helyezkedett el a robbanás epicentrumától. A nyomás a távolság függvényében erőteljesen csökken. Ez a magyarázata annak, hogy gyalogság elleni akna robbanásakor adott emberi test vonatkozásában az epicentrumhoz közeli végtag sérülése mellett a relatíve távolabbi tüdő sérülése nem következik be vagy minimális. Fontos tényező a test helyzete az epicentrumhoz képest illetve ebből adódóan a sérülések anatómiai helye. A túlnyomás okozta sérülés mértéke alapvetően két tényezőtől függ. Az úgynevezett geometriai változók csoportjába a sérült anatómia adottságai, életkora, általános egészségi állapota, a szövetek ellenállóképessége tartoznak. A második csoport az úgynevezett geometriai pozíció, melyet a csúcsnyomás, a nyomásfelfutás meredeksége, a lökéshullám pozitív fázisának időtartama és a visszavert hullámok tulajdonságai határoznak meg^[38].

A sérültellátást végző erők szempontjából a helyszíni (elsődleges) és az intézményi (másodlagos, harmadlagos) **osztályozás** helyessége befolyásolja a sérültek sorsát. Igen fontos tényező az ellátásig eltelt idő valamint a megfelelő sebészeti és intenzív osztályos ellátás.

4.1.5. Különleges körülmények: robbanás harcjárműben

A páncélozott harcjárművek zárt terében a bent ülők védettebbek a robbanásokkal szemben, így a sérülések előfordulása is ritkább. A jármű roncsolódásakor azonban a bekövetkező sérülések súlyossága és a mortalitás is növekszik. A traumás amputációk száma és az égési sérülések előfordulása egyaránt emelkedik. A járművek páncélzatának áttörése érdekében speciális páncéltörő robbanó eszközöket alkalmaznak, melyeknek három fő csoportja ismeretes.

Az első csoportba a Munroe-elven működő, úgynevezett **kumulatív töltetek** (shaped charge) tartoznak^[28]. Ezek magas hatóerejű konkáv kónusz alakú robbanóanyagot tartalmaznak, mely elé általában alumínium fémköpenyt helyeznek. A lövedék kemény hegyének becsapódása után bekövetkezik az irányított nagy erejű robbanás, melyet a konkáv kónusz keskeny, forró gáznyalábbá sűrít (kumulatív hatás). Ez a nagy nyomású gázból, a megolvadt fémbetét folyékony fém-sugarából (jet) és a lövedék fragmentumaiból álló nyaláb 30 000 000 kPa nyomás mellett a fémekeket megolvasztva áthatol a páncélzaton. A folyékony fémsugár kezdősebessége a 10 000 m/s-t elérheti. A bent ülők igen durva sérülését egyrészt a forró gáznyaláb mechanikai és hőhatása okozza, másrészt az áttört páncélzat darabjai direkt módon vagy visszapattanva erőteljes repeszhatást fejtenek ki a zárt térben. A magas hőmérsékletű gáz az üzemanyagot, a hidraulikus folyadékokat és a lőszerkeket meggyújthatja^[28]. A kumulatív lőszerkeket két fő formája az oldalról ható (pl. RPG), és a fenéklemez elleni kumulatív lőszer.

A második csoportba az oldal elleni, a Misnay-Schardin elven működő **robbanással formált lövedék** (EFP: explosive formed projectile) típusú lövedékek tartoznak. A magas hatóerejű robbanóanyag elé helyezett nagy tányérszögű fém betétből a magas nyomású robbanási gázok hatására igen nagy mozgási energiával rendelkező szilárd halmazállapotú lövedék képződik, mely átüti a páncélzatot.

A harmadik csoportba a szintén oldal elleni, nagy kinetikus energiát hordozó **űrméret alatti lövedékek** tartoznak. Ezekben nyílhegy alakú, aerodinamikailag ideális alakú, igen kemény fémből álló mag foglal helyet, mely anyaga igen gyakran gyengített urániumot tartalmaz. A nagy kezdősebességű kilövés után az ezt hordozó köpeny szétesik és a kemény hegyű lövedék nagy energiájú becsapódása lyukasztatja ki a páncélzatot. A bent ülők sérülését a kemény lövedékmag darabjai és a sérült páncélzat fragmentumai okozzák. A túlélő sérültek szervezetében tartósan bent maradó gyengített urán idegentestek nehézfém-mérgezést okozhatnak, ezért azok eltávolítása hosszú távon szükséges.

Általánosságban véve a harcjárműben ülők többféle mechanizmussal sérülhetnek. A jármű alatt felrobbanó akna a bent ülők tompa sérülését okozza a testnek a jármű falához vagy egyéb részeihez való csapódás által. A végtagok és a gerinc zárt törései igen gyakoriak, sorrendben: alsó, felső végtag, gerinc és medence [34]. A repeszek és egyéb fragmentumok okozta sérülések a fent leírt módon jönnek létre. Égési sérülések az esetek harmadában bekövetkeznek, súlyosságuk különböző. Részint a robbanás primer hőhatása, részint a meggyulladt üzemanyag és lőszer lánghatása okozza. Leggyakoribb az arc, a nyak, az alkar és a kéz égése. Az égés gyakran kombinálódik repeszszérüléssel. A robbanásos túlnyomás kétféleképpen hat a bent ülőkre. A jármű oldalát és főleg alját ért ütés energiája a fenéklemezre áttevődve annak deformitását és elmozdulását okozza, a bent ülők medence, gerinc és koponyasérülését hozza létre (transzlációs robbanási sérülés). A túlnyomás klasszikus, zárt térben elszennvedett barotrauma képében okoz elváltozásokat. A különböző égéstermékek közül leggyakoribb a teflon égésekor foszgén-szerű anyagok valamint klórgáz keletkezése, melyek toxikus hatást fejtenek ki. A klórgáz a nyálkahártyák víztartalmánál fogva sósavvá alakul és erős irritatív, maró hatást fejt ki [26].



28. ábra. Páncélos jármű elleni robbantás (a szerző felvétele).

4.2. Mechanikai és hőhatás, toxikus hatások

A robbanás a sérülés pillanatában az emberi szervezetre két fő hatást fejt ki: **mechanikai** és **hőhatást**. A bekövetkező sérülések is ennek megfelelőek s a későbbiekben részletezendő öt kategóriába sorolhatók [34] [42] [43].



29. ábra. Mechanikai és hőhatás (Pellet S. anyagából).

Robbanásos sérülések esetében egyidejűleg csaknem mindig több testtáj érintett. Igen gyakran sérül az arc, a mellkas és a has. Aknarobbanások döntően az alsó végtag nagyfokú roncsolással járó sérülését okozzák. A legtöbb áldozatot szedő gyalogság elleni aknák beásott, fix, statikus formái rálépésre robbannak és a láb illetve a lábszár alsó harmadbeli részleges vagy teljes amputációját illetve gáttáji és genitális sérüléseket okoznak. A földről visszaverődő nyomáshullám szinte a szövetek közé illetve a szövetközi résekbe préseli a talaj és az aknatest darabjait. A túlnyomás miatt az izompólyák mentén a csontdarabok illetve a szennyeződések és idegentestek magasan a végtag egyéb részeire is eljuthatnak. A sérülést ez esetben a végtag mérete, alakja, helyzete, az akna feletti talajréteg és a lábbeli tulajdonságai befolyásolják. Az érzékelővel ellátott, a test közelségére működésbe lépő aknák ezzel szemben ritkábban okoznak alsó végtagi amputációt. A fej és a törzs (has, mellkas) sérülései a leggyakoribbak ezen esetekben ^[40]. Az ugróaknák robbanásakor 1-2 m magasságban a körkörös repeszhatás dominál. A mortalitás az aknák ezen csoportjánál a legmagasabb. Az irányított hatású aknák a tér egy bizonyos irányába horizontálisan juttatnak nagy mennyiségű projektílt. A repeszek kezdősebessége nagy és azok kiterjedt roncsolást okoznak ^[26].

Robbanásos balesetknél, ipari robbanásokban, tűzoltók és tűzszerészek baleseteinél a felső végtag és a kéz sérül igen gyakran, hiszen a robbanást megelőző manipuláció ezáltal történik. Aknák hatástalanítása és szállítása közben történt robbanáskor ezen kívül súlyos fej- és arcsérülések következnek be.

A végtagok sorsát a csonttörések jellegén kívül a kültakaró és a lágyrészek állapota, azok roncsolódásának mértéke alapvetően meghatározza. A roncsolás sokszor kiterjedtebb, mint az első ránézésre látható, a sebek mindig szennyezettnek tekintendők. Jellemző a mechanikai és hőkárosodás egyidejű jelenléte és az extrém mértékű oedemahajlam. Többféle szöveti struktúra érintett (bőr, csont-ízület, izom, erek-idegek). Nagyszámú, különböző eredetű idegentest jelenléte súlyosbítja a képet. Mindezek miatt a szövődényvesztély igen jelentős.

A robbanások következtében direkt mechanizmussal létrejövő csonttörések sokszor nehezen sorolhatók valamely klasszikus törésbeosztási rendszerbe. Jellemző a nagy romzóna, számtalan, kisebb-nagyobb, a környező szövetek közé szóródott csontfragmentum, esetleg kiterjedtebb csontthiány. E csontdarabok, a roncsolt és sokszor elhalt lágyrészek, a számtalan idegentest valamint a kiterjedt vérömlenyek egyfajta keveréket alkotnak, mely kiváló táptalaj az anaerob és egyéb gennykeltő baktériumok számára. A „life before limb” elv alapján a

lágyrészek kiterjedt roncsolása és a fokozott fertőződési hajlam miatt gyakran kerül sor amputációra.

A robbanáskor felszabaduló kémiai anyagok toxikus hatást fejthetnek ki. Ennek tárgyalása belgyógyászati jellegű témakör, így részleges tárgyalása kívül esik jelen dolgozat tárgykörén.

4.3. A robbanásos sérülések felosztása

Az egyes sérülésfajtákat keletkezési mechanizmusuk szerint öt fő csoportba soroljuk: elsődleges, másodlagos, harmadlagos, negyedleges és ötödleges robbanásos sérülések ^{[34][41]}.

4.3.1. Elsődleges robbanásos sérülések

4.3.1.1. A túlnyomás általános hatásai

Elsődleges robbanásos sérülést (primary blast injury-PBI, barotrauma) a detonáció okozta nyomáshullám (lökéshullám) illetve a hirtelen nyomásváltozás idéz elő nagy hatóerejű robbanásban (HE). Ezt egyrészt a robbanási gáz lökéshulláma, másrészt a környezeti légnyomásváltozás és annak tovaterjedése idézi elő. A nyomáshullám a testfelszín elérése után részben visszaverődik, nagyobb része azonban tovaterjed a szövetekbe. A hirtelen nyomásváltozás leginkább a **légtartalmú üreges szervek** és a **dobhártya** sérülésével jár ^[10] ^{[15][24][26][31]}. Utóbbi 35-40 kPa feletti nyomásváltozás esetén sérül s ez egyéb szervek sérülésére is felhívhatja a figyelmet. A **garat** nyálkahártyáján bevérzések keletkeznek. A nyomáshullám 100 kPa felett főleg a **tüdő** sérülését eredményezi, kisebb-nagyobb bevérzésektől a súlyos tüdőroncsolódásig, következményes légmellel (pneumothorax, PTX), légemboliával ^{[29][34]}. Utóbbi a **koszorúserekben** hirtelen ischaemiához vezet, mely a robbanások által kiváltott azonnal halálozás leggyakoribb oka. A légembolisatio ezen kívül az agyi és a gerincvelői erekben jelentkezik. A kialakuló idegrendszeri tünetek a robbanás okozta direkt tünetektől elkülönítendők ^[37].

A 40 kPa feletti nyomásváltozás nem minden esetben jár tüdő- vagy bélrendszeri sérüléssel, ahogyan 100 kPa feletti nyomásváltozás esetén sem minden esetben látható dobhártyasérülés, bár igen gyakori. Minden olyan esetben azonban, amikor a dobhártya szakadása észlelhető, gondolni kell a tüdő és a gyomor-bélrendszer sérülésére is és a megfelelő kivizsgálást ez irányban el kell végezni.

Általánosságban elmondható, hogy a dobhártya repedése már 15 kPa felett bekövetkezhet, de 35 kPa felett igen valószínű. A tüdő esetében az állomány sérülése 60 kPa esetén már létrejöhet, 100 kPa felett azonban szinte biztosan észlelhető. 150 kPa felett a halálozás már 50 %-os, 220 kPa feletti túlnyomás esetén pedig szinte biztosan bekövetkezik a halál.

A külső nyomáshullám energiája a testhatárra érkezvén kétfajta energiahullámot gerjeszt: egy rövid idejű (<2 ms), magas frekvenciájú (0.5-1.5 kHz), alacsony amplitúdójú hullámot és egy hosszú idejű (2-3 ms), alacsony frekvenciájú (max. 0.5 kHz) hullámot. Mindkét energiahullám direkt módon tevődik át a szövetekre, mely leginkább a tüdő sérüléseinek létrejöttében játszik szerepet ^[14].

A rövid idejű, magas frekvenciájú hullám a hangsebességnél gyorsabban terjed és energiát közöl mindazon helyeken, ahol visszaverődik vagy iránya és frekvenciája megváltozik ^[7]. Az eltérő sűrűségű szövetek találkozási felületei ebből a szempontból kitüntetett jelentőségűek. A tüdőben, ahol számos ilyen elérő levegő- és folyadék tartalmú szövethatár található, a hullám energiája szövetszétválást okoz.

A hosszú idejű, alacsony frekvenciájú hullám nagy mellkasi deformációt, összenyomatást és a tüdőszövet megnyúlását eredményezi ^[15]. Amennyiben a megnyúlás mértéke a tüdőszövet elaszticitását meghaladja, szakadás jön létre. A sérülésnek sok esetben külső jele nem látható, a sérült érintetlennek tűnik ^[8].

A gyomor-bélrendszerben, mint üreges szervben (főleg a vastagbélben) szintén bevérzések, perforációk keletkezhetnek, melyek klinikai tünetei a későbbiekben jelentkeznek akut hasi kórképek formájában ^[4]. A lökéshullám által okozott végtagsérülés csak igen magas robbanási csúcsnyomás esetén jelentkezik, nagyfokú roncsolás, amputatio képében. Az elsődleges robbanási sérülés mértékét a sérült robbanástól való távolsága befolyásolja. A robbanási nyomáshullám erőssége a távolság négyzetével fordítottan arányos. Szabad térben bekövetkező robbanás hatásai enyhébbek, mint zárt térben bekövetkező robbanásé, hiszen a zárt térben (pl. harcjármű, autóbusz) a nyomáshullám intenzitásának csökkenése sokkal lassúbb és a visszavert hullámok hatása sem elhanyagolható. Sík felületek, pl. falak vagy a talaj közelében bekövetkezett robbanás nyomáshulláma a felületről visszaverődve súlyosbíthatja az elsődleges sérülés mértékét ^[34].

A nyomáshullám hatásaira az egyes szervrendszerek eltérően reagálnak. A mellkas esetében a nyomáshullám időben eltérő hatást fejt ki a tüdőállományra és a mellkasfalra, utóbbi lassabban reagál a nyomásváltozásra, mely a sérülések egyik okaként szerepel ^[31].

Az elsődleges, másodlagos és harmadlagos sérülések egyszerre fejtik ki károsító hatásaikat, ezért az elsődleges sérülés morbiditása nehezen határozható meg.

Egyes kutatási adatok szerint a robbanás okozta sérülések kb. 8-25 %-a halálos kimenetelű. Ezen esetek 47 %-áért az elsődleges mechanizmus tehető felelőssé. Amennyiben a dobhártya is sérül (35 kPa felett), ezen érték 86 %. Túlélők esetében az elsődleges robbanásos sérülés előfordulása 0.01-31 %, dobhártyasérüléskor 47-57 % ^{[31][34]}. Az elsődleges sérülés a robbanás tulajdonságaitól függ (robbanóanyag, üzemanyag, nyílt vagy zárt környezet stb). A vizsgálati módszerek (boncolás, klinikum, röntgen) különbözősége is az értékek pontatlanságához vezet.

Összegezve, a barotrauma a légtartalmú szervek károsodásához vezet (fül, tüdő, bélcsatorna), melyek sérülése primer vagy szekunder. Az elsődleges sérülés megítélése nehéz, különösen, ha egyéb sérülést okozó tényezők is jelen vannak (harci cselekmények, terrortámadás stb.). Leggyakrabban a hallószerv sérül, majd a felső légutak, a tüdő és a gyomor-bél rendszer. Nyílt környezetben végbement egyszeri robbanás esetén utóbbi három sérülése azonos gyakoriságú, azonban összetett környezetben végbement többszöri robbanások gyakrabban a gyomor-bél traktus sérülését eredményezik.

4.3.1.2. Szöveti károsodás, gyulladási faktorok

A nyomásváltozás direkt hatására létrejött elváltozások mellett a szövetkárosodásban a szabadgyök indukálta szöveti sérülések is szerepet játszanak. A túlnyomásra a szervezet általános gyulladási reakcióval válaszol a keringő PMN leukocyták számának vasoactiv és proinflammatoricus humoralis hatásra történő megsokszorozódásával. Ezek nagy számban áramlanak a sérülés helyére, ahol előzőleg proteolyticus enzimek szabadulnak fel és szabadgyökök képződnek ^[14]. A fentiek hatására nemritkán sokszervi elégtelenség (multi organ failure, MOF), ritkábban thrombosis, disseminált intravasculáris coagulatio (DIC) következik be. A vastranszportban részt vevő transzferrin vérplazmából a sérült szövetekbe áramlása és ott való szétesése következik be, mely a szövetek oxigénellátását rontja s így a plazma transzferrin tartalékai is gyorsan kimerülnek ^[14].

4.3.2. Az egyes szervek és szervrendszerek elsődleges sérülései

4.3.2.1. Az agy sérülései

Koponyán belüli elhelyezkedésénél fogva az agy a nyomásváltozásra kevésbé érzékeny. Az **agycontusio** és egyéb direkt sérülések a mechanikai hatás, az indirekt sérülések (agyi infarctus) az **embolisatio** következményei. Az agyi embolisatio és a halálozás általában 30 perccel a robbanás után, a tüdő sérülésének arányában következik be, azonban előfordul abban az esetben is, amikor a tüdőfelület 10%-ánál kisebb területen csupán petechiák jelennek meg. Az emboliák előfordulásának valódi aránya ismeretlen.

A hipocampus területén a neuroglia állományában következnek be változások. A neuronok megduzzadnak és **demyelinisatio** jön létre következményes ingerületvezetési zavarral.

A koponyaűri nyomásváltozás jellegzetes képet mutat lövési és robbanásos sérüléseknél. A lövedékek illetve repeszek nagy becsapódási sebessége miatt az átadott energia is nagy. Az agyállományban nagy frekvenciájú nyomáshullámok jönnek létre. Ezzel összefüggésben a robbanást követő első egy percben apnoés periódusok állnak be, mely alatt szisztémás változások még nem észlelhetők. Mind a központi, mind a perifériás idegrendszerben kisebb vérellátási zavarok keletkeznek.

A robbanásos túlnyomás által okozott koponyasérülések töréssel vagy anélkül jönnek létre, az agy oda-visszacsapódásos sérülése pedig **epiduralis** vagy **subduralis haematomát**, állományvérzést vagy oedemát okozhat. Mindez azonban már átmenetet jelent a harmadlagos sérülési mechanizmus irányába.

A robbanási nyomáshullám eszméletvesztést és enyhe központi idegrendszeri sérülés (mild traumatic brain injury, MTBI) képét okozhatja anélkül, hogy a fejet direkt behatás érné. A későbbiekben poszttraumás stresszbetegség (post traumatic stress disorder, PTSD) is kialakulhat. Robbanásos sérülteknél korai (3 órán belül) és késői (5 napon túl) kognitív funkciózavarokat is leírtak ^[6].



30. ábra. Súlyos nyílt koponyaérült (Pellek S. anyagából).

4.3.2.2. A hallószerv sérülései

A légtartalmú szervek közül a hallószerv sérül leggyakrabban. A fontosabb képletek: a dobüreg, a belső- és középfül egyaránt sérülhetnek. A **dobhártyasérülés** fájdalommal, vérzéssel, halláscsökkenéssel és fülzúgással járhat. A dobhártya, ahogyan a hangokra, úgy a robbanás által keltett nyomáshullámra is eltérően reagál. Ez függ a robbanás tulajdonságaitól, attól, hogy nyílt vagy zárt helyen következett-e be (visszavert hullámok), a csúcsnyomás nagyságától, a nyomásfelfutás meredekségétől, a lökéshullám pozitív fázisának időtartamától, a nyomáshullámok irányától (párhuzamos vagy merőleges a dobhártya síkjára) és a dobhártya minőségétől (életkor, korábbi betegségek, akusztikus érzékenység). A dobhártya szakadása átlagosan 35 kPa csúcsnyomás felett következik be a fenti tényezők függvényében. A szakadás mértéke nem arányos a kialakuló halláscsökkenéssel, a nyomásváltozás nem minden esetben tevődik át a hallócsontokra és a belső fülre. A középfül sérülései a hallócsontok töréseiben és ficamodásában nyilvánulnak meg nagy energiájú robbanás esetén. Belső fül sérülései irreverzibilisek és jelentős halláscsökkenéssel járnak. A lamina reticularis és a Cortiszerv basalis membránja sérül ilyenkor. Esetenként a külső és belső receptorok számának csökkenése is megfigyelhető.

4.3.2.3. A felső légutak sérülései

A robbanásos túlnyomás okozta sérülés legkorábbi jelei a felső légutakon láthatók **petechiák** és ecchymosis formájában, melyeket a submucosa és a mucosa bevérzései illetve az oedema okoznak. A gége sérülései a vestibulum felett és az epiglottis hátsó felszínén, a tracheaé random vagy a gyűrűknek megfelelő elrendezésben. Mikroszkóposan a lamina basalis szakadása miatt a hámsejtek száma csökken s felszíni fekélyek jelennek meg.

4.3.2.4. A tüdő sérülései

A túlnyomásos tüdőszérülés az elsődleges robbanásos sérülések leggyakoribb primer halálozási oka. A hallószerv mellett a tüdő túlnyomásos sérülései nagy hatóerejű (HE) robbanás esetén a leggyakoribbak. Az azonnal halált okozó **emboliák** forrása a tüdő. Emellett a nagy kiterjedésű **tüdőcontusio** a második számú halálok ^{[5][20]}.

Klinikai tünetek: apnoe, tachypnoe, hypopnoe, haemoptoe, arteriás saturatio csökkenés következményes vénás acidosis. Állatkísérletben az intrapulmonalis és intrathoracalis nyomás azonnali növekedését észlelték. A sérülés súlyossága a mellkas összenyomatásával és rugalmasságával is arányos. Az akut szakban a legnagyobb morbiditást és mortalitást a tüdőszérülések okoznak.

A túlnyomás okozta sérülés tünetcsoportja az ún. robbanásos tüdő (blast lung), mely klinikailag apnoe, bradycardia és hypotensio triászának képében nyilvánul meg. A robbanásos tüdő képe az esetek egy részében a robbanást követően azonnal, más részében 12-48 órával később alakul ki. A leggyakoribb halálok a robbanást kezdetben túlélők között a robbanásos tüdő kialakulása. Mellkasi AP RTG felvételen kétoldali, jellegzetes pillangó alakú elváltozás észlelhető ^[34].

A tüdőszérülés leggyakrabban a pleuralis felszínén vagy a parenchymában, az eltérő sűrűségű szövetek határterületein jön létre. Magasabb túlnyomás esetén a légutak és erek szakadása is előfordul. Legjellemzőbben tüdőcontusio alakul ki bevérzések mellett (enyhébb esetben petechiákkal és ecchymosisal). Ezen elváltozások focalisak, multifocalisak vagy diffusak lehetnek. Alul a rekesz mentén, medialisán a szív mellett lateralisán a bordákat követve és

hátul helyezkednek el. A bevérzések pleuralisak, subpleuralisak vagy parenchymán belüliek, melyek az alveolusokat és az interstitiumot is érinthetik. A kialakuló oedema intravasalis, alveolaris vagy interstitialis lehet. Mikroszkóposan a lamina basalis sérülése hámhiányokat hoz létre a bronchusokban és a bronchiolusokban.

A legsúlyosabb tüdőszérelést az akcelerációs-decelerációs mechanizmus okozza, amikor a tüdőparenchyma leszakad az erekről, vérzést és légemboliát okozva. A nyomáskülönbség összehúzó az alveolusokban lévő összenyomható levegőt, átszakítja az alveolaris membránt és azok egybenyílása a légzőfelület csökkenését eredményezi. A nyomáshullám áttérjed az összenyomhatatlan folyadéknak tekinthető tüdőszövetekre, az eltérő sűrűségű szövethatárokon súlyos szérelést eredményezve. A lökéshullám áthaladtával az alveolusokban összehúzó levegő hirtelen kitérül és ez a kialakult széreléseket tovább súlyosbítja (légembolia). A füst és a robbanási gázok belélegzése a tüdő szérelését súlyosbíthatja.

Kiterjedt vérzések jellemzők a tüdő állományában. A vérrrel telt alveolusok és a társuló szakadások mikroszkóposan is láthatók^[18].

A túlnyomásos szérelés azonnali és legnagyobb halálozással járó szövődménye a légembolia. Valódi kóroki előfordulása ismeretlen. Az alveolusok és az interlobalis erek együttes szérelését tartják lehetséges előidéző oknak. A nyomáshullám által az alveolusokban összenyomott levegő a nyomáshullám tovaterjedése után hirtelen tágulni kezd és a szérelt érfalon át az érpályába préselődik. Az alveolaris septumok szakadása emphysemát okoz, ezáltal levegő jelenik meg az interstitialis térben vagy subpleuralis cysták formájában, melyek a pleura felé törhetnek ki. Ennek eredménye légmell, azaz pneumothorax (PTX).

ARDS (acute respiratory distress syndrome) direkt tüdőszérelés vagy egyéb szérelések illetve gyulladási faktorok hatásaképpen alakul ki. Az ARDS gyakori halálok a robbanást túlélő betegeken. A hypoxaemiával járó ARDS legsúlyosabb a szérelést követő első 72 órában.

4.3.2.5. A szív szérelései

Többféle mechanizmus vezethet károsodásához: direkt contusio, neurocardialis reflexek, sejt szintű állománykárosodás, **coronaria-elzáródás** légembolia vagy fibrinkiválás miatt^[21]. A túlnyomás kapcsán igen gyakran ritmuszavarok jelentkeznek: asystole, bradycardia, tachycardia, kamrafibrillatio. A szívcontusio bevérzések, petechiák és ecchymosisok képében jelentkeznek, csakúgy, mint a tüdőben. A bevérzések az epicardiumban a szív hátsó felszínén a rekesz közelében, az endocardiumban a papillaris izmok alapjánál és a szomszédos kamraállomány területén a legjellemzőbbek. Magas túlnyomás esetén direkt állományszakadás ritkán előfordulhat.

Myocardialis ischaemia és infarctus oka a légembolia és/vagy fibrinkiválás okozta embolia. Mikroszkópos vizsgálatok a szívizomsejtek degenerációját és elhalását mutatták ki, valamint fibrinlerakódást a coronariák falán. Ezen elváltozások állatkísérletben már 5 perccel a nyomáshullám után is észlelhetőek voltak, valószínűleg légembolia és DIC következményeként^[31].

Állatkísérletben a túlnyomás után azonnal pulzusszámnövekedést, artériás, vénás és kifejezett a. pulmonalis nyomás emelkedést észleltek. A coronariákban gyors, de átmeneti áramlásnövekedés volt megfigyelhető. Ezzel párhuzamosan az artériás saturatio csökkenése jelentkezett^[32].

Idegi reflexek közül a cardiovascularis reflexek játszanak szerepet a tüdő és szív szérelések keletkezésében^[21].

4.3.2.6. Hasüregi sérülések

Az emésztőrendszer sérülései gyakran fordulnak elő többszörös illetve víz alatti robbanások esetén. Magasabb túlnyomás esetén a máj és a lép sérülése gyakoribbá válik. Felszíni robbanáskor leginkább harmadlagos mechanizmussal, tompa hasi trauma hatására következik be sérülésük. Zúzódás és szakadás egyaránt előfordul következményes haemoperitoneummal. A vesék és a hasnyálmirigy sérülése igen ritka. A hasüregben a bélcsatorna nagy gáztartalmánál fogva a legsérülékenyebb^[34]. Állatkísérletes modellekben négylábúakon folytatott kísérletekben a bélcsatorna sérülése sokkal gyakoribb volt, mint a felegyenesedett életmódot folytató ember esetén^[21]. A bélcsatorna falán oedema, bevérzések, perforatio és esetleg laceratio jelentkezik. Leggyakrabban az alsó vékonybélszakaszon, a coecum, de leginkább az **ileocoecalis** átmenet tájékán, ahol a legtöbb gáz gyülemlik fel. Előfordulásuk leggyakoribb helye az antimesenterialis felszín. Petechiák, bevérzések ezek, az adott bélszegmentumban körkörös gyűrűszerű elrendezést mutatva. Mikroszkóposan a mucosa ill. submucosa, illetve a serosa érintett. Transmuralis kiterjedés esetén perforatio, haemoperitoneum, pneumoperitoneum, peritonitis és következményes sepsis is létrejöhethet. Ezen tünetek késleltetett formában, a sérüléstől számított 6-96 óra múlva alakulnak ki. A mesenterium sérülése sem ritka. A mesenterialis ischaemia oka leggyakrabban a légembolia.

4.3.2.7. Vesesérülések

Mechanikai trauma hatására a veseállományban contusio vagy laceratio alakulhat ki. A testszerte kiterjedt szövetroncsolás és izomszétézés (rhabdomyolysis) következtében akut veseelégtelenség jöhet létre.

4.3.2.8. A szem sérülései

Túlnyomásos sérülés gyakori szemtünete a conjunctivalis bevérzés. A nyomásváltozás a szaruhártya szakadásához, a retina részleges vagy teljes leválásához vagy a látóideg károsodásához vezethet. Nagy robbanási nyomásváltozás az orbita csontjainak törését okozhatja.

Az arteria carotis interna az arteria ophthalmica ágain át a retina ereibe kerülő légembolusok esetenként akár láthatóak is.



31. ábra. A szemhéj sérülése (a szerző felvétele).

4.3.2.9. Végtagsérülések

A gyalogság elleni aknák (melyek telepítésének célja az áldozat harcképtelenné tétele s nem feltétlen megölése) okoznak leggyakrabban végtagi sérülést, elsősorban az alsó végtagon. Jellemző az **igen magas robbanási túlnyomás** (1500 kPa felett), mely a végtag rendkívüli roncsolódását, gyakran amputációját eredményezi. A detonáció során a nyomás igen hirtelen megnövekszik, majd a nyomáshullám a felforrósított levegővel robbanási hullámot képez. Ez a magas csúcsnyomású és nagy sebességű hullám a test szöveteivel kapcsolatba lépve stresszhullámot indukál, mely a kontaktus helyétől távolabb is szövetkárosodást eredményez. A periferiás idegek demyelinisatiója akár 30 cm-rel távolabb is bekövetkezhet. A nyomás a távolsággal arányosan jelentős mértékben csökken, így következhet be, hogy az alsó végtag amputációt szenved, de nem alakul ki tüdőszérülés. A kiterjedt roncsolás következtében a vérvesztés számottevő lehet. Emellett a szövetek hőkárosodása is jelentős. Másodlagos mechanizmusként a szövetekben nagy mennyiségű idegen anyag található: föld, kövek, repeszek, lábbeli- és ruhafoszlányok, egyéb idegentestek. A kiterjedt szövetkárosodás és szennyezettség (földdel szennyezett sebek) a bacterialis, főleg anaerob fertőzések kockázatát jelentősen megnövelik. Az amputációs sérülések leggyakoribb helye a lábszár alsó harmada és a láb. Az ellenoldali végtagon és a gáttájon másodlagos mechanizmussal gyakran áthatoló sérülések keletkeznek.



32. ábra. Gyalogság elleni aknától származó amputációs sérülés (Pellek S. anyagából).

4.3.3. Másodlagos robbanásos sérülések

Másodlagos robbanási sérülés vagy **repszérülés** a robbanó szerkezetből (primer vagy elsődleges repeszhatás) és a környezetből (szekunder vagy másodlagos repeszhatás) származó fragmentumok roncsoló hatásának következménye ^[11]. Szövetkárosító hatásuk nagyságuktól, alakjuktól, sűrűségüktől, a becsapódás helyétől és az utána bekövetkező széttöredezéstől, forgásuktól, a sérült által viselt ruházattól, de legfőképpen a mozgási energiától függ. Ezen mozgási energia a tömeg és a becsapódási (megelőzően a kezdő-) sebesség függvénye ^[9]. A repeszek kezdősebessége átlagosan 900-2500 m/s között változik. A katonai robbanó szerkezetekből származó primer repeszek kezdősebessége elérheti a 2500 m/s-t, a nem katonaiaké alacsonyabb, 1000-1500 m/s. A nagy mechanikai energia miatt a roncsolás többnyire igen kiterjedt. A szekunder repeszek sebessége jóval alacsonyabb, tömegük változó. A sérülések jellege függ a környezetben található anyagoktól. Épületekben bekövetkező robbanás az üveglablakokból származó nagyszámú repesz roncsoló hatása miatt kiterjedt lágyrész- illetve testüregi sérüléseket okoz. A katonai robbanó szerkezetek többsége a repeszhatás fokozása érdekében fémszilánkokat (srappel) tartalmaz. A terrorista támadásokban használt robbanó szerkezetek a roncsoló hatás növelése miatt szegeket, csavarokat és egyéb kisméretű fémanyagokat tartalmaznak. Járművek robbantása során a zárt térben bekövetkező súlyos elsődleges sérülést a jármű alkotóelemeiből képződött másodlagos repeszek súlyosbítják. Páncélzattal nem ellátott katonai járművek illetve buszok elleni merényletekkor gyakori e jelenség. Öngyilkos merénylők önrobbantásakor az elkövető testéből származó darabok, elsősorban csontok másodlagos repeszként viselkedve az áldozat testébe fúródhatnak. Kezdősebességük kicsiny, de a célszemélytől való kis távolság miatt a bőrön áthatolhatnak s roncsoló hatásuk nem elhanyagolható.

A másodlagos robbanásos mechanizmus gyakran eredményezi a **testüregek behatoló sérülését**, főleg a civil sérültek esetében. A többnyire repeszálló védőeszközöket viselő katonák behatoló testüregi repeszszérülése ritkább. A repeszek oldalról, a nyak, a váll és az alsó végtagok felől is behatolhatnak valamely testüregbe.

A robbanás epicentruma közelében tartózkodó, repeszálló öltözetet nem viselő személy kisszámú és kis méretű repeszek nagy energiájú becsapódásától súlyos hasüregi és mellkasi sérüléseket szenvedhet. A nagy kezdősebesség és az átadott energia nagysága miatt életet veszélyeztető többszörös hasüregi szervsérülés következhet be. Az egyes repeszek lőfegyverből származó **lövedékhez** hasonlóan viselkednek, elsődleges és másodlagos üregeket hozva létre^[44].

Annak ellenére, hogy a fej-nyak régió a testfelület mindössze 12 %-át adja, a halált okozó másodlagos robbanási sérülések leggyakrabban e testtájon következnek be.

Gyakori továbbá a szem repeszszérülése, mely nem mindig ismerhető fel elsődlegesen. A robbanást szenvedettek mintegy 10 %-ában fordul elő szemsérülés, mely idegentestek, súlyos esetben perforáló üvegtestsérülés formájában jelentkeznek. Ezen esetekben a klinikai tünetek szegényes volta miatt a robbanást követően csak később derül fény a sérülésre. A beteg diszkomfortérzés, látászavar, könnyezés miatt jelentkeznek.



33. ábra. Repeszek okozta többszörös sérülés (a szerző felvétele).

4.3.4. Harmadlagos robbanásos sérülések

Harmadlagos robbanási sérülést a nyomáshullámból eredő nagy mechanikai energia miatt az áldozat egész testének **hely- és helyzetváltozása** okoz, mely közben a környezeti tárgyakkal vagy a talajjal való ütközés idéz elő főleg töréseket (nagy csöves csontok, medence, mellkas csontos váza). Harmadlagos mechanizmus szintén bekövetkezik, amikor a robbanási nyomáshullám bizonyos behatárolt területen koncentrálódik (pl. ajtó mögötti robbanás az ajtó részén keresztül) s a robbanás energiája kis területen adódik össze illetve az áldozat igen közel helyezkedik el a robbanás központjához. Igen gyakoriak ezen csoportban a koponya törései is^[34]. Az első, pozitív nyomáshullám hatásait a második, negatív ellenlökés hatása súlyosbíthatja, a test további helyváltoztatását okozva. A robbanás keltette nyomáshullám a test különböző részeire eltérő módon hat. A nyomáshullám áthatja a szövetekre és az eltérő fizikai tulajdonságokkal rendelkező szövetek eltérő módon reagálnak a nyomásváltozásra. Ez a különböző szöveti struktúrák között létrejövő sérülések forrása. Az ún. **akcelerációs** (gyorsulási) fázisban a test helyváltoztatása több 10 métert is elérhet. Másrészt a detonáció következtében a testet repülő tárgyak általi ütés is érheti. A különböző szövetek és testrészek

gyorsulása eltérő, ez újabb sérülésekhez vezethet a könnyű felületes sérüléstől a súlyos, életveszélyes sérülésekig. A test illetve az érintett testrész gyorsulása a test méretének, alakjának és tömegének a lökéshullám paramétereire viszonyított arányától függ. A **decelerációs** (lassulási) fázisban a test különböző tárgyakkal illetve a földnek ütközve szenved különböző sérüléseket^[19]. Az üreges szervek, főleg a mellkas sérülésének, a csont- és gerinctörések és a koponyaúri sérülések fő mechanizmusa ez. Ez egyrészt a direkt ütődés, másrészt a negatív gyorsulás következménye. A test alapvetően kétféle röppályán csapódhat a merev felületekhez. Hátraesés esetén kísérletesen azonos távolság, testtömeg és robbanási hatóerő esetén a felütközési sebesség nagyobb, akár a 7.4 m/s-t is elérheti^[38]. Ilyenkor a fej, a gerincoszlop és a mellkas sérülései súlyosabbak. Arcra illetve homlokfelületre esés esetén azonos paraméterek mellett a felütközési sebesség nagyságrendileg az előző fele, mintegy 3.4 m/s, így az elszenvedett sérülések is enyhébbek^[38].

A sérülések széles skálán jöhetnek létre mindkét fázisban, de tapasztalatok szerint a decelerációs fázisban létrejött sérülések általában kevésbé súlyosak, mint az akcelerációs fázisban.



34. ábra. Nehezen osztályozható robbanásos eredetű ulnatörés (a szerző felvétele).

4.3.5. Negyedleges (kevert) robbanásos sérülések

Kevert, negyedleges robbanási sérülésben a hőhatás a felszabaduló és kisugárzott hő és láng hatás valamint a robbanási gáz magas hőmérséklete eredménye, mely különböző mélységű **égést** okoz a bőrön és a légutakban^[34].

A detonáció során „tűzgolyó” keletkezik, mely igen rövid ideig elérheti a 3000 °C hőmérsékletet. A FAE típusú illetve a termobárikus EBW típusú robbanó eszközök ezen magas hőmérsékletű periódus idejét megnyújtják.

Ezek alapján az égési sérülések két csoportra oszthatók. Az első csoport sérüléseit a **direkt lánghatás és a detonációs tűzgolyó hője** okozza, mindkettő viszonylag rövid idejű expozíciót eredményez. A tűzgolyó időtartama tized-századmásodperc nagyságrendű, emiatt ellene a normál ruházat általában védelmet nyújt. A második csoportban a változó időtartamú **kontakt égés** (környezet éghető anyagai, ruházat) okoz változó súlyosságú égést. Ilyen módon a kontakt égés hőjének hatására bekövetkező légúti égés az életet közvetlenül veszélyeztető állapotot idézhet elő, csakúgy, mint a forró robbanási gázok belégzése ^[38].

Különösen súlyos égést okoz a katonai célú gyújtó robbanó lövedékekben található **fehér foszfor**, mely a levegővel érintkezve magas hőmérsékleten ég, nagy mennyiségű hőt szabadítva fel. Égése során foszfor-pentoxid szabadul fel, mely igen súlyos, tüdőt irritáló toxikus hatású anyag. Robbanáskor a foszfor szemcsék mélyen a légnyereszkekbe juthatnak és ott további tartós hőkárosodást okozhatnak ^[34]. Hasonlóan súlyos égést okozó hatású vegyület a **napalm**, mely igen viszkózus, ragadós jellege folytán a bőrre tapad s onnan való eltávolítása csaknem lehetetlen. Különleges tulajdonsága, hogy víz alatt illetve hűtést követően is nagy mennyiségű hőt termel.

E típusban kémiai robbanás esetén a sérülést a bőrre és a sebekbe kerülő egyéb vegyi anyagok súlyosbíthatják illetve a felszabaduló mérgező anyagok toxikus hatásukat az egész szervezetre kifejthetik. A robbanáskor keletkező gázok és gőzök belégzése mérgezést okozhat. Robbanások során a legnagyobb mennyiségben keletkező mérgező hatású gáz a **szén-monoxid** illetve műanyagok inkomplett égésekor felszabaduló nagy mennyiségű **cianid** vegyület. Utóbbi két anyag felszabadulása igen gyakran együttesen fordul elő. Zárt térben ezek belégzése végzetes lehet. A legnagyobb mennyiségben felszabaduló mérgező gázok között tehát a **szén-monoxid** valamint **nitrogén-monoxid** szerepel az első helyen. Sűrűségük nagyobb a levegőénél, így a kimentésig tartósan a földön vagy mélyedésben (robbanási tölcser) fekvő áldozatok nagyobb valószínűséggel szenvednek mérgezést.

Különleges hatással bírnak a foszgén-szerű égéstermékek, a **perfluor-izobutilén** (PFIB) és származékai, melyek a legtöbb páncélozott harcjárműben megtalálható teflon égésekor keletkeznek. Toxikus hatása a foszgénéhez hasonló. A szöveteket direkt érintkezéssel és sósav képződésével is károsítja ^[34].

A **légvákuum-jelenség** miatti oxigénhiány fulladást okozhat. A negatív oxigénegyenleggel rendelkező robbanóanyagok robbanásukkor oxigént vonnak el környezetükből.

Nagy energiájú robbanás esetén a nagy mennyiségű **por vagy füst** belégzése is légzési zavart okoz. Legveszélyesebb a szénpor (bányabalesetek) vagy az azbeszt belégzése.

Ebbe a csoportba tartozik a reflexes úton létrejött angina, hyperglykaemia és hypertensio is valamint a már meglévő alapbetegségek súlyosbodása.

Végtagsebészeti szempontból a másodlagos, a harmadlagos és a negyedleges sérülések bírnak fokozott jelentőséggel, hiszen a csonttörések mellett mind a repeszhatás, mind az égés-marás a szövetek kiterjedt károsodását okozza. A nagyfokú szövetroncsolódás vagy a betemetetés Crush-szindrómát eredményezhet.

A földdel szennyezett nyílt sérülések szepszikus szövődményei, különös tekintettel az anaerob fertőzésekre, szintén e csoportba tartoznak.



35. ábra. Robbanásban súlyosan sérült égett beteg sokktalanítása (a szerző felvétele).

4.3.6. Ötödleges robbanásos sérülések

Ötödleges robbanási sérülést a tömegpusztító (AVB) robbanó eszközök alkalmazásakor annak jellegétől függően **sugárzó, kémiai és biológiai ágensek** okoznak. Az ötödleges sérülési kategória az utóbbi időkben alkalmazott, megnövelt hatású robbanóeszközök (EBW) bevetése kapcsán került bevezetésre. A gyengített uránt tartalmazó ürméret alatti páncéltörő löszerek radioaktív sugárzást előidéző hatása nem egyértelmű, a gyengített uránt nagy keménysége miatt a páncéltörő hatás fokozása céljából tartalmazzák. A nagy erejű robbanások, öngyilkos merényletek alkalmával nagy energiával szétszóródó emberi testrészek más áldozatok sérüléseit okozhatják, a vérrel és testnedvekkel terjedő betegségek vírusfertőzéseinek fokozott kockázatával (HIV, HCV).

4.3.7. Pszichológiai hatások

A robbanást túlélők esetében nagy számban találhatók pszichológiai problémákkal küzdő betegek. Az akut stressz reakciók, akut stressz betegség, poszttraumás stressz betegség a leggyakoribb kórképek. Klinikailag tudatzavar, szorongás, disszociatív magatartászavarok jelentkezhetnek.

4.3.8. Speciális körülmények: természeti jelenségek okozta robbanás

A természeti jelenségek közül az aktív vulkánok kitörése során következik be az annak jellegéből fakadó fizikai robbanás. Egyéb természeti jelenség pl. villámcsapás, földrengés másodlagos módon vezethet robbanás létrejöttéhez.

A vulkáni tevékenység alkalmával az úgynevezett explozív típusú kitörések során következnek be a robbanással összefüggő sérülések abban az esetben, amikor az áldozat a kitörés közvetlen közelében, a vulkáni kráterben vagy annak peremén tartózkodik.

Az erupció során a robbanásos jelenséget a nyomáscsökkenés miatt a magmában oldott állapotban lévő gázok robbanásszerű kiszabadulása és kitágulása okozza. A robbanás erejét vízgőz jelenléte erőteljesen fokozza. A felszabaduló energia a kitörés magnitúdójától függően igen nagy. A kitörési oszlop és a szétterülő gázok illetve piroklasztikus folyamatok hőmérséklete 800-1000 °C is lehet. A robbanással nagy mennyiségű vulkáni hamu kerül ki a kürtőből, amely valójában apró szemcsenagyságú (0.5 - 2 mm) piroklasztikum, azaz magmaanyag. A kilökött anyag szemcsenagysága változó, a 2 mm - 2 cm közöttieket lapillinek, a 2 cm felettieket bombáknak és tömböknek nevezzük, melyek mérete a több méteres átmérőt is elérheti. Ezek izzó vagy félig megszilárdult állapotban, magas hőmérsékleten hullanak a földre.

Elsődleges robbanásos sérülést a távolság és a terepviszonyok függvényében a túlnyomás okoz. A magnitúdó rendszerint igen nagy, így a tüdő sérülése igen súlyos. A kitörés közvetlen közelében lévő áldozatoknál súlyos tüdőcontusio és laceratio mellett több esetben észleltek hörgőszakadást is.

Másodlagos robbanásos sérülést az oldalirányban kilökött lapillik és bombák okoznak. Ezek kezdősebessége 200-400 m/s közötti, mely kis hatóerejű (LE) robbanás erejének felel meg. Hatásuk megegyezik a robbanó szerkezetek repeszhatásával azzal a különbséggel, hogy hőmérsékletük elérheti az 1000 °C-ot is, mely negyedleges hatásként súlyos égéshez is vezethet. A kürtőből felfelé kilökött és visszahullott bombák tömegüknél fogva súlyos koponyasérülést okoznak, melyet a magas hőmérséklet szintén súlyosbít. 80 J mozgási energiával rendelkező projektil már fatális kimenetelű sérülést képes okozni, ennek tükrében egy 0.5 kg-os bomba 30 m/s sebességnél 90 %-os valószínűséggel következik be halálos sérülés. 10 kg-os bomba esetén ehhez 6-13 m/s is elegendő ^[2].

Harmadlagos sérülést a test nagy energia miatti nagymértékű helyváltoztatása okoz. Több balesetnél észlelték az áldozat testének az epicentrumhoz képest 100 m-en felüli helyváltoztatását. A diszlokációt a meredek hegyoldalakon való elmozdulás is fokozza, melyek lejtőszöge salakkúpok esetén a 38 fokot is elérheti. Igen durva többszörös sérülések jönnek ilyenkor létre, pl. a koponya darabos törése gyakran a gerinccsigolyák és a bordakosár többszörös törésével, máj-és lépszakadással kombinálódik ^[2].

Negyedleges sérülést több tényező okoz. A magas hőmérsékletű hullott anyag direkt módon III-IV. fokú égést is okozhat, melyet a meggyulladó ruházat égése súlyosbít. A hőkárosodás nemcsak a direkt égés, hanem a kitörési oszlop magas hőmérséklete miatt intenzív hősugárzás következtében is kialakulhat. Az égés során keletkező gázok közül a szén-monoxid mérgezést okozhat. 500-800 °C hőmérsékleten a szövetek szinte megfőnek.

A vulkáni gázok közül a szén-dioxid, kén-hidrogén, kén-dioxid, klórgáz és ammónia okoz mérgezéses tüneteket. A fenti gázok vízzel reakcióba lépve sósavvá, kénessavvá illetve kénsavvá alakulva elsősorban a nyálkahártyákon okoznak irritációt. A vulkáni gázok és hamu tartós belégzése a későbbiekben tüdőfibrosishoz vezethet. A mérgezéseken kívül az oxigénhiány fulladást okozhat, hiszen az igen magas hőmérsékletű piroklaszt-árak a környező levegőt mintegy magukba szippantják (légvákuum-jelenség). A nagy külső nyomás mellett belélegzett vulkáni hamu a légutakat eltömészelve okozhat fulladást. Ezen vulkáni hamu vízzel keveredve hamar megkötő cementszerű anyagot hoz létre, melynek a légutakból való eltávolítása igen nehéz.

Az áldozatok állapotát súlyosbítják a kimentésükig eltelt idő során bekövetkező változások. A terep sok esetben nehezen járható, a légi mentést az időjárási viszonyok lassíthatják. A sérültek ezen idő alatt kihűlést és folyadékvesztést szenvednek. Égett sérültek esetén ez rövid idő alatt fatális kimenetelű lehet.



36. ábra. Vulkánkitörés okozta robbanás. Etna, 2008.06.05. (a szerző felvétele).

5. A robbanásos sérülések kezelésének alapelvei

5.1. Speciális szempontok

Robbanások esetén, akár katonai harccselekmények, akár terrortámadás vagy balesetek miatt következtek is be, adott esetben **tömeges sérült** keletkezésével kell számolni^[33]. A sérültek nagy részénél többszörös trauma vagy **politraumatizáció** áll fenn, az életet önmagukban is veszélyeztető sérülésekkel. A mechanikai és hőkárosodás mellett belgyógyászati jellegű traumatizáció is szerepelhet sugár-, vegyi vagy biológiai hatások formájában. Egyidejűleg több vagy nagyszámú ilyen sérülttel kell számolni s ez felveti az ellátó hely (kórház) vagy régió katasztrófa- és tömeges sérültellátási tervének életbe léptetését. Ennek megfelelően a helyszínen folytatott sérültosztályozást az ellátó helyen megismételt triage kell kövesse, melyet három tényező tesz szükségessé. Elsőként a sérültek állapota a beszállítás során változik s ennek megfelelően a osztályozási kategória is módosulhat. Másodsor, az ellátó hely kapacitásai is változnak s ez szintén osztályozásbeli változásokat vonhat maga után. Terrortámadás kapcsán maga az ellátó hely is veszélybe kerülhet s ez a ellátási képességet csökkentheti. Harmadszor, a sérültáramlásra jellemző, hogy leghamarabb a könnyű sérültek érkeznek nagy számban, akik a helyszíni sérültosztályozást megkerülve saját lábukon vagy nem mentőegységekkel kerülnek be a legközelebbi egészségügyi intézménybe. A helyszíni osztályozáson átesett súlyos sérültek a mentőegységekkel leggyakrabban ezt követően vagy eközben kerülnek beszállításra. Ez utóbbi jelenség a kórházi triage másodszori megismétlését is szükségessé teszi. A sérültek mintegy fele a robbanást követő egy órán túl keresi az ellátó helyeket.



37. ábra. Tömeges sérültellátás műveleti területen (Pellek S. anyagából).

Zárt térben bekövetkezett robbanás esetén (épületen belül vagy jármű belsejében) illetve építmények összeomlásakor a sérülések súlyossága és a halálozási arány nő. A sérülések jellege is változik, hiszen a romok általi betemetetés pl. a Crush-szindrómát szenvedettek számát növeli, míg a kimentésig eltelt idő arányában sérültek állapota a vérveszteség, kihűlés és kiszáradás következtében jelentősen romlik.

5.2. Diagnosztika

5.2.1. Kórelőzmény

Amennyire lehetséges, fel kell deríteni a sérült pontos elhelyezkedését a robbanás központjához képest, különös tekintettel a távolságra és a testhelyzetre. A tereptárgyak elhelyezkedésének hozzávetőleges ismerete segíthet egyéb sérülések felderítésében. Meg kell becsülni a robbanás erősségét és jellegét valamint ebből adódóan azt, hogy várhatóan az elsődleges vagy a másodlagos-harmadlagos sérülések dominánsak-e. Tisztázni és rögzíteni kell, hogy a robbanás nyílt vagy zárt térben, esetleg víz alatt következett-e be, illetve azt, hogy a sérült betemettetést, magasból esést vagy egyéb tompa traumát szenvedett-e.

5.2.2. Fizikális vizsgálat

Az életfontosságú paraméterek megítélése a legelső tevékenység annak eldöntésére, hogy újraélesztésre szükség van-e. Ezt követi a sérült általános állapotának felmérése és a fizikális vizsgálat, mely valamennyi testtájra kiterjed. A **mellkas** vizsgálata elsődleges tüdőszérülés és légmell irányában. Robbanás után jelentkező nehézlégzés minden esetben felveti kiterjedtebb tüdőszérülés, mint elsődleges robbanásos sérülés gyanúját. A nehézlégzést a robbanás egyéb következményei is okozhatják: légúti égés, gáz és por belélegzése, tüdőoedema szívcontusio miatt vagy ARDS. További klinikai tünetek súlyos légzészavar esetén cyanosis, köhögés, légzésszám növekedés vagy dyspnoe. Hallgatózással esetenként mindkét tüdő felett crepitatio

észlelhető. Légmell esetén az érintett oldalon légzési hang nem vagy csak gyengülten hallható. A szájüregből, az orrüregből vagy a hallójáratból vérzés fordulhat elő. A fenyegető keringési sokk miatt a szívfrekvencia nő, a vérnyomás esik ^[4].

A fül vizsgálatok a sérülés súlyosságától függően a **dobhártyán** hyperaemia, bevérzés vagy szakadás látható. Dobhártyaszakadás minden esetben felveti egyéb sérülés gyanúját is. Minden dobhártyasérüléssel járó esetben mellkas RTG elvégzése javasolt illetve hosszabb kórházi megfigyelés, többszöri mellkas RTG kontroll ismétléssel, esetleg CT vizsgálattal. Megjegyzendő, hogy a dobhártyasérülés hiánya nem zár ki egyéb, súlyos sérülést.

Hasi sérülések kezdetben rejtve maradhatnak, ezért a vizsgálatnak ezirányban is igen alaposnak kell lennie. Hasi fájdalom, hányinger-hányás, haematemesis, melaena, rectalis fájdalom, egyéb okkal nem magyarázható hypovolaemia esetén azonnal gondolni kell hasi sérülésre is. Nyíltszíni robbanás esetén a levegőben terjedő nyomáshullám gyorsan elveszti energiáját, tehát a robbanás közvetlen környezetében várható hasi sérülés. Zárt térben a visszaverődő nyomáshullámok, illetve víz alatti robbanás esetén a folyadék összenyomhatatlansága miatt a hasüregi sérülések bekövetkezése sokkal valószínűbb.

A neurológiai tünetek közül fejfájás, pszichomotoros nyugtalanság, tutatzavar, eszméletvesztés esetén amnesia emelendő ki. Késői tünetek memóriazavarok, álmatlanság lehetnek, melyek elsősorban az elszenvedett trauma pszichés következményei ^{[5][6]}.

5.2.3. Laboratóriumi vizsgálat

A kiterjedt és pontos laboratóriumi kivizsgálás tömeges sérültszám esetén nem feltétlenül kivitelezendő, hiszen diagnosztikus szempontból specifikus haszna igen csekély.

A robbanásos sérüléseknek nincsenek specifikus laboratóriumi jelei. Állatkísérletes modellben nyulakon robbanást követően a leukotriének felszaporodása játszott jelentős szerepet a tüdőszérülés létrejöttében ^{[4][5]}.

Kísérletes modellben a vérplazma TxB2 szintje szignifikáns emelkedést mutatott a kontroll és a nem robbanásos súlyos sérültek értékeihez képest. A plazma 6-ketoPGF1alfa szintje extrém emelkedést mutatott a másik két csoporthoz képest. A plazma 6-ketoPGF1alfa / TxB2 szintjének aránya a hemodinamikai rendellenességek jó indikátora. Irodalmi adatok szerint ez az arány átlagosan 2.5. Az arány a robbanásos és nem robbanásos csoportban egyaránt szignifikánsan csökkent, de a változás mértéke a robbanásos csoportban erősebb volt az első 7 napban. A plazma sLTs szintje szintén szignifikáns emelkedést mutatott az első 7 napban, csúcspontját a 2. napon érte el ^[6].

További állatkísérletes modellben a tüdő sérülését biokémiai változások súlyosbították (szabadgyök indukálta oxidatív stressz). A robbanásos túlnyomás a tüdő és a szervezet egésze antioxidáns (C-vitamin, E-vitamin, glutation) tartalmának csökkenését okozta. Ezzel párhuzamosan a lipid peroxidációs termékek felszaporodása volt észlelhető ^[18].

A robbanásos sérült többszörös sérültnek vagy **politraumatizációt** szenvedettnek tekintendő mindaddig, amíg kivizsgálása ezt ki nem zárja. Ezért a laborvizsgálatok közül a vérkép (elsősorban haemoglobin, haematocrit és vörösvértest- és thrombocytaszám) valamint az alvadási paraméterek vizsgálata az esetleges transfusio illetve a fenyegető DIC miatt elengedhetetlen. Az általános laborvizsgálatok közül a vércukorszint, máj- és vesefunkciók valamint az ionháztartás vizsgálata emelendő ki.

Az azonnali **pulsoxymetria**, tételes **vérgázanalízis** elengedhetetlen, hiszen ez a legtöbb robbanásos sérült esetében hypoxiát és hyperkapniát mutat ^[18].

Crush szindróma, compartment szindróma vagy súlyos égés esetén a rhabdomyolysis (hyperkalaemia, myoglobinuriás veseelégtelenség) miatt ionogram készítendő.

DIC kizárására véralvadási vizsgálatok szolgálnak (INR, TI, APTI, vérzési idő).

Sok súlyos robbanásos sérültnél kifejezett myoglobinuria észlelhető.

Zárt térben bekövetkező vagy égéssel kísért robbanás esetén a carboxihaemoglobin teszt és a sav-bázis egyensúly figyelemmel kísérése fontos.

Műanyagok inkomplett égése során cianidok szabadulnak fel, nemritkán CO expozíció kíséretében. A cianidok jelenlétének észlelése és mérése nehéz feladat. Cianmérgezés valószínű olyan betegeknél, akik zárt térben szenvedtek robbanásos sérülést és akiknél metabolikus acidosis észlelhető. Gyanú esetén a kezelést azonnal, még a laborvizsgálatok elkészülte előtt meg kell kezdeni. A betegnek empirikus úton hydroxocobalamin adása javasolt.

Fehér foszfort tartalmazó katonai robbanóanyagok okozta égést szenvedett betegeknél hypokalcaemia és hyperphosphataemia észlelhető. A fehér foszfor levegővel történő érintkezésekor égése során nagy mennyiségű hő szabadul fel (magas égési hőmérséklet) és foszfor-pentoxid szabadul fel. Utóbbi anyag a tüdő és a légutak jelentős irritációját okozza. A fehér foszfor a katonai robbanóanyagok igen gyakori összetevője, főleg kézigránatokban alkalmazzák.

5.2.4. Eszközös vizsgálatok

Mellkas AP röntgen felvétel az elsődleges túlnyomásos sérülés miatt gyakorlatilag minden robbanásos sérültnél készítendő. Robbanásos tüdő képe (blast lung) esetén jellegzetes kétoldali pillangó alakú elváltozás látható légmell jelenléte mellett vagy anélkül. A felvételeken gyakran látható intrapulmonalis bevérzés és oedema, utóbbi jellegzetes, hóéséshez hasonló képet mutat.

Pontosabb diagnosztikai eljárás a mellkasi CT vizsgálat elvégzése, mely a tüdőállomány állapotáról, a légmell és a folyadékgyülem (vér) nagyságáról és elhelyezkedéséről ad részletes felvilágosítást. A rekonstrukciós mellkasi CT kép a mellkas hagyományos AP felvételéhez hasonlóan a mellkas egészéről ad jó minőségű képet, így megfelelő CT háttér mellett a hagyományos rtg felvétel ki is hagyható. **Spirál CT** vizsgálat a sérültről gyors **teljes-test vizsgálat** is készíthető (trauma scan), mely az egyéb testüregi sérülésekről, az idegentestek elhelyezkedéséről és a csonttörések hozzávetőleges helyzetéről ad felvilágosítást. Angio- vagy kontrasztanyag CT vizsgálat pontosabb képet ad az esetleges testüregi vérzésekről.

Pulsoxymetria minden esetben, de különösen CO mérgezés gyanújakor igen fontos. Mérgezés bekövetkeztekor 100 % oxigén lélegeztetése szükséges a vérgázértékek normalizálódásához.

Az **EKG** görbe légemboliát követő coronaria elzáródás esetén myocardialis ischaemia, esetleg infarctus jeleit mutatja.

A fül vizsgálata a dobhártyasérülés miatt szükséges.

Hasi sérülés gyanúja vagy intenzív hasi fájdalom esetén natív hasi röntgen felvételek, **ultrahang** vagy **CT** vizsgálat végzendő. Leggyakoribb radiológiai tünet a bélsérülés okozta pneumoperitoneum. A bélfal bevérzések felderítésére pontos képalkotó vizsgálat nem áll rendelkezésre, sokszor a CT vizsgálat sem mutat kezdeti eltérést. Tekintve, hogy ezen bevérzések gyakran csak 12-36 óra múlva alakulnak ki, a klinikai tünetek (hasi fájdalom, hányás) is csak késleltetve jelentkeznek. Zárt hasi sérülés gyanúja esetén diagnosztikus és terápiás céllal **laparoscopus** beavatkozás is végezhető.

Végtagi, gerinc és koponyasérülés gyanúja esetén az érintett testtájrról legalább **kétirányú RTG** felvétel készítendő az esetleges csontsérülések megállapítására. A gerinccsigolyák sérülése esetén CT vizsgálat szükséges. Robbanásos sérülések között nagy számban koponyatrauma is előfordul, ezért a tudatzavar vagy eszméletvesztés esetén koponya CT vizsgálat is elvégzendő.

A neurológiai tünetek miatt készített EEG görbén gyakran látható corticalis dysfunctio illetve szabálytalan hypersyncron aktivitás megnövekedett theta aktivitással ^{[4][5][6]}.
Sugár- vagy vegyi kontamináció esetén speciális mentesítés szükséges.



38. ábra. A teljes test spirál CT vizsgálata: trauma scan (Pellek S. anyagából).

5.3. Kezelés

5.3.1. Prehospitális kezelés

A prehospitális kezelésben békeidőben a mentőszolgálatoknak, műveleti területen a kiürítést végző egységeknek alapvető szerepe van. A beteg életkilátásai szempontjából az időfaktor döntő jelentőségű. Békeidőben a beszállítás többnyire a végleges ellátó helyre történik, háborús körülmények között a kiürítés több lépcsőben megy végbe. Igen lényeges, hogy az ön- és kölcsönös segély illetve az úgynevezett „combat medic” által biztosított ellátás milyen színvonalú és minőségű.

Igen fontos tudni, hogy vegyi vagy sugárszennyezettség fennáll-e. Normál esetben a prehospitális kezelés menete hasonló a többszörös, kombinált sérültek ellátáshoz (venabiztosítás, intubatio, lélegeztetés, ha szükséges, mellkas detensionálás, EKG, monitorozás, fájdalomcsillapítás, égések hűtése, sérült végtagok rögzítése). Sok esetben tömeges sérülttel kell számolni, így a katasztrófaellátás elveinek is érvényesülniük kell. A sérültszétválogatás szerepe igen fontos.

5.3.2. Hospitális kezelés

5.3.2.1. Sürgősségi osztály

Kombinált robbanásos sérülésben több testtáj egyidejű érintettsége az ellátás taktikáját alapvetően meghatározza, melynek életmentő, csupán didaktikai szempontból szétválasztott lépései egymást kiegészítik és általában egyidejűleg zajlanak.

Első és alapvető lépés a beteg fizikális és műszeres vizsgálata, majd sokktalanítása, alapvető élettani paramétereinek stabilizálása és monitorozása. Szükség szerint lélegeztetés, légúti égés esetén gége- vagy légcsömetszés végzendő. Folyadékpótlást végzünk illetve, ha égés és koponyasérülés kizárható, permisszív hypotensio alkalmazható a további vérvesztés mérséklésére. Ekkor a systolés vérnyomást stabilan 80-100 Hgmm körül tartjuk. Siker esetén az agyi és a veseperfusio kielégítő ^[16].

A mellkast, hasat és a dobhártyát minden robbanásos sérült esetében kitüntetett figyelemmel kell megvizsgálni. Tüdősérülés mielőbbi diagnosztizálása nem tűr halasztást (mellkasi röntgenfelvétel, CT), melyet szükség szerint mellkasi szívó drainage követ. A primer sérüléskor kialakuló tüdőcontusio a sérülés után néhány óra elteltével ad egyértelmű RTG képet, így a mellkas RTG felvétel megismétlése szükséges. A betegek oxigén adására szorulnak. A mesterséges lélegeztetés túlnyomással a tüdőszűrés miatt azonban feszülő PTX és légembolia veszélyét hordozza magában. Súlyos esetben 24-48 óra alatt ARDS is kialakulhat ^[18]. Irodalmi adatok szerint a limitált PIP lélegeztetés (max. 40 vízcm) kontrollált hyperkapnia mellett (pH 7.2 alá nem engedve) csökkentette a lélegeztetéssel kapcsolatos fenti szövődmények számát ^[36].

Hasi fájdalom és progrediáló hányás esetén a beteg szoros hasi observációja szükséges.



39. ábra. Mellkascsovezés és pericardium punctio robbanásos sérültön (a szerző felvétele).

5.3.2.2. Műtő

Második lépés a vérzésforrások diagnosztizálása és műtéti ellátásuk mielőbbi megkezdése. A vérzéscsillapítás a sokktalanítással egyidejűleg zajlik. Amennyiben a vérzéscsillapító műtét a sokktalanítás részét képezi, a későbbiekben ismertető damage control elvei szerint járunk el. A beható sérülések (másodlagos v. repeszhatás) standard testüregfeltáró műtéttel, ezt

követően a végtagi és gerincsérülések végtagtraumatológiai illetve idegsebészeti módszerekkel, az égések standard égéssebészeti módszerekkel kezelendők.

A repeszek okozta sebek kezelése megegyezik az alacsony kezdősebességű lövedék okozta sebek kezelésével.

5.3.2.3. Mérgezések kezelése

A mérgezések kezelése megegyezik a toxikus ágens okozta mérgezés standard kezelési módszereivel. Harctéri sérülés esetén kiemelendő, hogy a **foszgén-szerű égéstermékek** (perfluor-izobutylén, PFIB) toxikus hatása a foszgénhez hasonló, így a foszgénmérgezés kezelésének módszerei követendők ^[34]. A szöveteket direkt érintkezéssel és sósav képződésével is károsítja. Belélegezve a tüdőben szénsavra és sósavra bomlik el. Általános tünetek a nyálkahártya irritáció, légszomj, tüdőoedema, cyanosis és vérnyomásesés, melyek esetén intenzív osztályos kezelés szükséges. Kis koncentrációban 6-8 óra múlva is tüdővizenyőt okozhat. Tüdőoedema hiánya esetén 2 óra elteltével a beteg ismételt vizsgálata szükséges a vizenyő késői kialakulásának veszélye miatt. A felszabaduló klórgázból keletkező sósav maró hatásával a bőrt másodlagosan károsítja, ennek eltávolítása és a savmarás kezelése szükséges. A sósav belélegezve légútkárosító hatású, így az esetleges légúti marás kezelése is szükségessé válhat. A foszgén klóratomjai alkoholokkal reakcióba lépnek, ezért alkohol belélegeztetése a mérgezést enyhíti. Specifikus antidotuma nincs, légzési elégtelenség esetén gépi lélegeztetés szükséges. A kialakult bronchusgörcs bronchustágítókkal enyhíthető. Szteroid adása szükségessé válhat.

5.3.2.4. Gyógyszeres kezelés

Specifikus gyógyszeres kezelési mód robbanásos sérültek kezelésére jelenleg nem áll rendelkezésre, a kutatások ezirányban folynak. Állatkísérletes modellben a szérum tromboxán A₂, a prosztaciklin I₂ és a leukotriének szintje megemelkedik, ezért szabadgyök-fogó és gyulladáscsökkentő szereket adása ígéretes lehet ^[14]. Szintén állatkísérletes modell szerint nervus vagus mediálta bradycardia és hypotensio alakul ki, ezért atropin adása hatásos lehet, csakúgy, mint a nervus vagus blokádja ^{[21][32]}.

A nagyfokú szövetroncsolás és a sebek szennyezettsége miatt **széles spektrumú antibiotikus kezelés és tetanus profilaxis** indokolt, mely kiegészíti, de nem helyettesíti a sebészeti ellátást. Minden nagy kiterjedésű, szennyezett és roncsolt seb potenciálisan fertőzöttnek tekintendő, ezért az antibiotikus kezelés háborús sérülés esetén **terápiás dózisban** kell, hogy történjen. Testüregbe hatoló sérülés esetén az antibiotikus kezelést azonnal meg kell kezdeni. Az esetlegesen sérült érrendszer fokozott thrombosis hajlama és az immobilisatio miatt **anticoagulatio** szükséges, hacsak ennek kontraindikációja nem áll fenn. Végtagok keringésének javítása keringésjavító infúziókkal érhető el.

5.3.2.5. További kezelés és megfigyelés

Olyan sérültek, akik nyílt színi robbanásban érintettek, nincs látható sérülésük, jó általános állapotban vannak és mellkasi és hasi kivizsgálásuk negatív eredménnyel zárult, kezelést nem igényelnek. Légzési nehézség, hasi fájdalom, hányás vagy egyéb tünetek esetén további megfigyelésük indokolt. Zárt térben vagy víz alatti robbanásban sérültek esetében illetve azoknál, akiknél dobhártyasérülés észlelhető, a későbbi szövődmények kockázata nagyobb.

Ezért hosszabb megfigyelésre lehet szükség. Tekintve, hogy a tüdőcontusio tüneteinek illetve az intestinalis bevézések kialakulásához 12-48 óra is szükséges lehet, a betegek hosszabb megfigyelése is célszerű.

Hazai gyakorlatban minden robbanásos beteg minimum 24 órás megfigyelése követendő, ez alól tömeges robbanásos sérültszám esetén a kórházi kapacitás hiánya miatt lehet eltérni. Azonnali felvételt az olyan betegek igényelnek, akiknél égés, légembolia gyanúja, sugár- vagy fehér foszfor okozta sérülés, hasi panaszok (fájdalom, hányás), tüdő érintettsége (klinikai és/vagy radiológiailag tüdőcontusio, haemopneumothorax), hypoxia, vesecontusio, nyaki vagy beható testüregi sérülés áll fenn.

Légembolia vagy annak gyanúja esetén recompressió kezelést kell kezdeni. Maszkon át 100%-os oxigén belégzését kell biztosítani, lehetőleg bal oldalra fordított, félig ülő testhelyzetben. Trendelenburg helyzet tilos. Definitív kezelés a hyperbaricus oxigénkezelés. Kutatási eredmények szerint aszpirin adása hatékony lehet, tapasztalat szerint ugyanis csökkenti a gyulladási folyamatok mediálta tüdőszövetkárosítást barotraumat követően.

Robbanás okozta légútszervi sérülések, égések, csonttörések és egyéb sérülések kezelése megegyezik az egyéb ok kiváltotta hasonló sérülés kezelésével.

Dobhártyasérülés önmagában nem igényel specifikus kezelést és kórházi felvételt. Gégészeti vizsgálat és kontroll javasolt. A beteg ne helyezzen semmilyen tárgyat a hallójáratba. Neomycin adása ototoxikus hatásánál fogva ellenjavallt. A legtöbb dobhártyasérülés spontán gyógyul, problémát az olyan esetek jelentik, amikor hallócsont-sérülés, cholesteatoma képződés vagy szepszis szövődés (perilymphaticus fistula) jelentkezik. A dobhártyasérültek mintegy egyharmada hosszútávú halláscsökkenésben szenved.

5.3.2.6. Speciális szempontok – terhesség

A civil lakosság elleni terrortámadások során az áldozatok, sőt az elkövetők között terhes anyák is szerepelnek, ezért az anya és a magzat állapotának felmérése speciális szempontok szerint történik. A magzat az anyaméhben összenyomhatatlan folyadékkal van körülvéve, ezért direkt sérülése ritka. A méhlepény sérülése sokkal gyakrabban fordul elő. A vitális paraméterek stabilizálása után a második trimeszterben lévő kismamák szülőszobába helyezendők a magzat monitorozása és laborvizsgálat céljából. A méhlepény leválása annak következtében jöhet létre, hogy a nyomáshullám eltérő fizikai tulajdonságú (sűrűségű) szöveteken halad át. Ezért az endometrium izomzata és a placenta közötti határon sérülés következhet be. Szakadás alakulhat ki a placenta állományán belül is. A második-harmadik trimeszterben lévő kismamák esetében vizsgálat végzendő fetomaternalis vérzés kimutatására. Pozitív esetben (magzati sejtek megjelenése az anyai vérképzésben) kismamái UH végzendő, melyet a magzat monitorozása követ. Szülészeti-nőgyógyászati vizsgálat szükséges. Kiegészítésképpen Rh immunglobulin adása szükséges, ha az anya Rh negatív.

5.3.3. Damage control

5.3.3.1. Elsődleges ellátás a Damage Control Surgery szerint.

Nagyszámú sérült keletkezése esetén harctéri körülmények között a klasszikus elvek szerinti első lépésben történő definitív sebészeti ellátás nem lehetséges. Cél a beteg állapotának mielőbbi stabilizálása, a vérzések megszüntetése a lehető legrövidebb műtéti idő alatt. Amennyiben ez nem történik meg időben, a beteg **kihűlése**, a kialakuló **acidosis** és

véralvadási zavar olyan élettani változásokat okoz, mely a halálozást 90 %-ig megnöveli (hypothermia, acidosis, coagulopathia triáza). Legfőbb szempont a beteg életének megtartása.

Damage control surgery (élet- és végtagmentő primer sebészi ellátás) alatt azt a gyors sebészeti beavatkozást értjük, melynek célja a vérzésforrások azonnali megszüntetése, a fertőzések megelőzése, a contaminatio megszüntetése a testüregek nem feltétlenül történő végleges zárásával és amely intenzív osztályos kezelés során a normál élettani paraméterek visszaállításával egészül ki^[26]. Ezt a komplex sokktalanítási folyamatot a beteg állapotának stabilizálása után követi második lépésben az ismételt sebészeti feltárás és definitív ellátás. Így a mortalitás 50 % alá csökkenhet. Cél a sérült életének megmentése a normál élettani paraméterek normalizálásával, nem pedig az anatómiai viszonyok azonnali és feltétlen helyreállítása.

5.3.3.2. Damage control alapelvek

A damage control első lépésben nem jelenti a végleges ellátást, hanem a multi- és politraumatizációt szenvedett betegek műtéti kezelésének első lépését képezi.

Damage control alkalmazandó mindazon sérülteknél, akiknél kombinált hasüregi sérülés (parenchymás szervek, bél), többszörös vérzés, rossz általános állapot illetve több szervrendszert érintő súlyos sérülés áll fenn. Tömeges sérültellátásban az egy betegre jutó rövid műtéti idő miatt szintén damage control elvek alkalmazandók.

Damage control a lehető legkorábban elvégzendő sokkos vagy presokkos betegnél ISS>35, pH<7.2, testhőmérséklet<34 °C valamint coagulációs zavar (PT>19 s és/vagy PTT>60 s) esetében.

Kerülendő a hypothermia, a hasüreg minden áron való zárása (hasi compartment szindróma) valamint a késedelmes ismételt feltárás vérzés miatt.

Az ajánlott sebészeti eljárások: ér-shunt, fasciotomia, a hasüreg kitamponálása vákuumkezeléssel kiegészítve, átmeneti fedés, nem feltétlenül anatómiai helyen végzett resectiók.

A végleges ellátás műtéti sorozat része.

A hadműveleti területen történő Minimalizált Sebészeti Ellátás (Tactical Abbreviated Surgical Control, TASC) középpontjában a perifériás érsérülések, a csontos váz nagy töréseinek, a kiterjedt lágyrész-sérülések és a behatoló thoracoabdominalis sérülések életmentő jellegű műtéti ellátása áll^[26]. A definitív sebészeti kezelés az ellátás további, magasabb szintjén történik. A damage control szerinti ellátás három elkülönített lépésből áll.

Primer műtét, mely során feltárás, vérzéscsillapítás, a contaminatio megszüntetése, kitamponálás (packing) és átmeneti testüregzárás történik.

Intenzív osztályos kezelés, mely célja a normál fiziológiai paraméterek helyreállítása, a maghőmérséklet visszaemlése, a coagulopathia és a haemodinamikai paraméterek rendezése.

Tervezett reoperáció, ekkor az ismételt feltárás során történik a végleges és definitív sebészeti ellátás. A tervezett reoperáció akár műtétek sorozatát is jelentheti.

5.3.3.3. A sebellátás általános elvei

A sérült testtáj és a beteg további sorsa szempontjából alapvető fontosságú a roncsolás mértékének megítélése, hiszen egy esetleges septicus szövődmény súlyos testüregi gennyedést, végtag elvesztését eredményezheti, esetleg a sérült életét is veszélyezteti. Mindezen kívül fel kell mérni azt, hogy mely szöveti struktúrák sérültek, melyek a primer ellátás és a rekonstrukció lehetőségei.

A kiterjedt szövetroncsolás, szennyezettség miatt a sebészi kezelést követően (és nem helyette!) elengedhetetlen a széles spektrumú antibiotikus kezelés és a tetanus-profilaxis.

Az első ellátás során széles alapú sebkimetszés, debridement végzendő. Széles, jól áttekintést nyújtó feltárás szükséges, emellett a későbbi rekonstrukció lehetőségei másodlagosak. Elsődleges cél a sérülés ellátása és a fertőzés megelőzése. E nélkül a majdani rekonstrukció is lehetetlen. A sebkimetszés az épben történik, valamennyi szennyezett és elhalt, keringésétől megfosztott szövet kimetszése szükséges. Az idegentestek eltávolítása, a seb mechanikai és kémiai tisztítása, többszöri átöblítése szintén alapvető ^[3].

Behatoló testüregi sérülés a műtéti beavatkozás abszolút indikációja. A sérült testüreg feltárását azonnal el kell végezni a mielőbbi vérzéscsillapítás, esetleges érsérülés ellátása érdekében. Ezt követően a robbanáskor gyakran a szövetek közé kerülő idegentestek lehetőség szerinti eltávolítása következik, feltéve ha a kivétel maga nem jár további roncsolással. A szervsérülések ellátását elvégezzük. A műtét utolsó fázisa a testüreg lehetőség szerinti zárása, megfelelő drainage mellett ^[17].

Végtagi érsérülés esetén a primer érrekonstrukció a keringés fenntartása érdekében szükséges. Ideg- és ínsérülés ellátása primeren nem végezhető, arra a későbbi rekonstrukció során kerülhet sor.

Nyílt ízületi sérülés esetén feltárás, debridement, öblítő drainage, valamint az ízület rögzítése szükséges.

Végtagi érintettség esetén compartement szindróma gyanújakor a fasciotomia azonnal elvégzendő beavatkozás, mely során az érintett testtáj valamennyi izomrekeszének behatását végezzük.

A sebek zárása tilos, azok nyitva kezelendők. Igen jó módszer a vákuum-asszisztált nyitott sebkezelés alkalmazása. Ennek alkalmazásával a képződő váladék és a kórokozók folyamatosan eltávolításra kerülnek, míg a sarjszövet képződése fokozott ütemben megindul. A sebek zárására a későbbiekben, gyulladással jelek hiányában kerülhet sor. Sebellátást követően steril kötések felhelyezése, a sérült végtagok gipsszel vagy ortézissel való rögzítése történik. A beavatkozásokat követő dokumentáció igen fontos mozzanata a beteg kezelésének, melyben a végtag keringési és beidegzési állapota, az elszenvedett sérülések (ín, izom, csont) és a végzett beavatkozások kerülnek leírásra.

Fehér foszfor okozta égések speciális ellátást igényelnek ^[34]. Első lépés az égett terület folyamatos agresszív hűtése és a felismerhető idegen anyagok eltávolítása (víz alatt célszerű, a további égés meggátlására). A foszforszemcsék sokszor a mély szövetekbe impaktálódnak. Az érintett területet hideg fiziológiás sóoldattal átítatott gézzel fedjük. Lesötétített kezelőben speciális fényben a fehér foszfor darabkák könnyen felismerhetők, levegővel érintkezve világítanak. A sebek szinte „füstölnek”. A definitív kezelés 0.5 %-os rézszulfát (CuSO₄) oldat alkalmazása és a fehér foszfor részecskék eltávolítása. A rézszulfát a foszforral kékesfekete réz-foszfat réteget képez, mely az oxidáció gátlásával véd a további égéstől és felismerhetővé teszi a foszfor részecskéket. Eltávolításuk után a rézszulfátot bő fiziológiás sóoldattal mossuk le. A rézszulfátot kötszerben sose alkalmazzuk, mert nagy mennyiségű felszívódása az érpályán belül haemolysist és veseelégtelenséget okozhat. A fehér foszfor sérülés hypokalaemiát, hyperphosphataemiát, EKG eltéréseket, arrythmiát és halált is okozhat. EKG monitorozás, szérum Ca szint ellenőrzés, esetleges Ca intravenás adása szükséges. Maszk használata és szellőztetés a foszfor pentoxid gáz tüdőkárosító hatását csökkenti a sérült és a személyzet részére. Fehér foszfor jelenlétében gyúlékony altatógázok és főlöszleges oxigén használata kerülendő.

5.3.3.4. Halasztott sebzés

A halasztott sebzés elveinek maximális betartása robbanásos sérülés esetén elengedhetetlen, ellenkező esetben a szepikus szövödmény kialakulása szinte elkerülhetetlen. A sebzés 3-10 nap múlva lehetséges, amennyiben gyulladásra vagy infectióra utaló jelek nincsenek. Ennek során első lépésben ismételt sebkimetszés, sebtisztítás történik. A sebzés feltétele a végtag jó keringési állapota. Szigorúan műtéti körülmények között végzendő beavatkozás, melynek formái a másodlagos (szekunder) varrat vagy egyéb, bőrpótló eljárások: lebenyelforgatás, félvastag bőr átültetése, teljes vastagságú lebenyek. Sebzéskor a bőr és a lágyrészek feszülése kerülendő. A műtét utáni szakban gyulladáso jelek irányában fokozott megfigyelés szükséges, ezek megjelenésekor azonnali ismételt megnyitás végzendő.

5.3.3.5. Hasüregi sérülések ellátása a damage control elvei szerint

Első lépés: Primer feltárás és vérzéscsillapítás

A mielőbbi vérzéscsillapítás lekötéssel, shuntképzéssel vagy az érsérülés rekonstrukciójával történhet. Alternatív megoldás lehet ballonkatéteres vérzéscsillapítás érsérülés vagy parenchymás szervsérülés esetén. Adott esetben a kialakuló duzzanat miatt fasciotomia is szükségessé válhat.

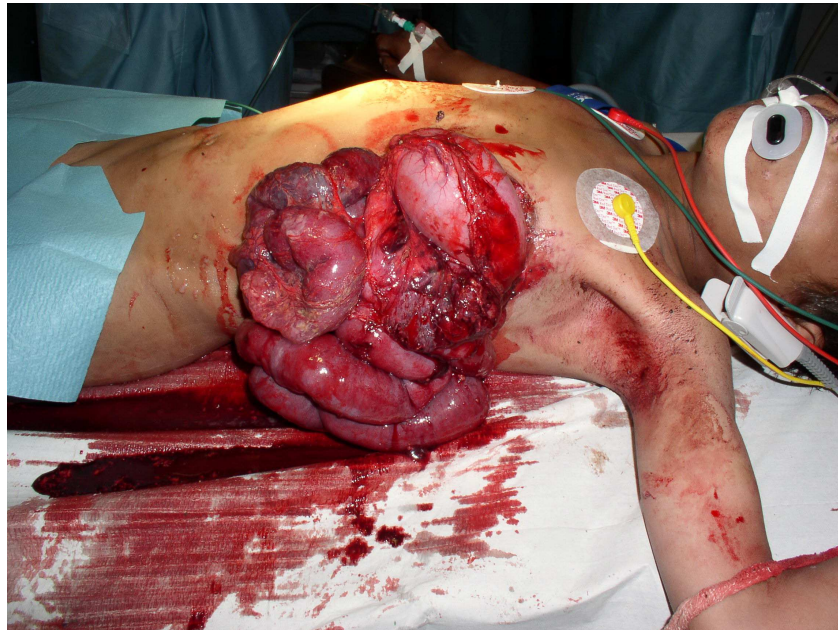
A laparotomia során valamennyi sérülés feltárását el kell végezni. Csak a szükséges resectiók végzendők. A parenchymás szervek vézései tamponálással csökkenthetők (packing). A bélsérülések zárása szükséges, nem feltétlenül a végleges anastomosisok vagy colostoma, sigmoideostoma képzésével, ezek második lépésben is megtehetőek. A műtét gyors befejezése kívánatos a véraladási zavarok kialakulása előtt, ha hypovolaemia, hypothermia és acidosis jelei észlelhetők. Bármilyen műtét csak a beteg állapotának stabilizálása után történhet. Decontaminatio és a fertőzések megelőzése a vérzések megnyugtató megszüntetése után következik. Többszörös bélcsatorna sérülés esetén, ha a vékonybél 50 %-nál rövidebb szakasz érintett, egyszerű resectio végezhető. Amikor a beteg állapota megnyugtatóan stabilá válik (testhőmérséklet, pH, véralvadás), definitív ellátás végezhető. Amennyiben a fenti tényezők valamelyikében változás áll be, a műtétet be kell fejezni és a beteg állapotát intenzív osztályon kell stabilizálni.

A tamponálással történő vérzéscsillapításnak két formája végezhető. Az életmentő tamponálás a vérző terület direkt nyomással való kezelését jelenti, mely átmeneti jellegű és a vérzés definitív ellátása követi. A terápiás tamponálás ezzel szemben tartós (24-48 óra), máj-, kismencedei és retroperitonealis vérzés esetén végzendő, ugyanígy elmozdult medencetörések esetében. A tamponálás második ülésben szüntethető meg, a kiújuló vérzésveszély miatt az első sebészeti beavatkozás során ne távolítsuk el a tamponokat. A tamponálás mellett a szövetek áttekinthetőségét biztosítani kell. Az elégséges vérzéscsillapításhoz nagy mennyiségű hasi törlőkendő szükséges.

A hasüreg zárása a fenyegető hasi compartment szindróma miatt nem mindig célszerű. Ez esetben a hasüreg nyitva kezelendő. Az átmeneti fedésre behelyezett szivacsok felett bármilyen steril, néhány helyen perforált, lehetőleg műanyag fólia használható. E fölé a subcutan réteg magasságában szívódraint kell helyezni. A rendszert légmentes fóliával kell fedni és mérsékelt szívás alá kell helyezni. Az egyik legjobb módszer azonban a hasi vákuum-

asszisztált nyitva kezelés alkalmazása. A peritoneum, a fascia és a bőr nyitva marad a hasűr végleges zárásáig.

Fenyegető hasűri compartment szindróma esetén a húgyhólyag feszülésének mérése szükséges, mely tájkoztatást ad a hasűregi nyomás változásáról.



40. ábra. Súlyos behatoló hasűregi sérülés (Pellek S. anyagából).

Második lépés: Intenzív osztályos kezelés

Kihűlés megakadályozása és a maghőmérséklet emelése (melegített infúziók, hőszigetelő fólia, meleg levegő befúvása, környezet hőmérsékletének emelése). Ezzel egyidejűleg az acidosis megelőzése kristalloid és kolloid infúziók illetve vérkészítmények adásával vihető végbe. A véralvadási zavarok friss, teljes vérkészítmények adásával előzhető meg.

Harmadik lépés: Tervezett reoperációk

A beteg állapotának megnyugtató stabilizálása után tervezett időpontban a végleges és definitív sebészi ellátás következik. Feltétele, hogy a beteg a műtét időpontjára megfelelő fiziológiás tartalékokkal rendelkezzen.

5.3.3.6. Mellkasi sérülések ellátása a damage control elvei szerint

A sürgősséggel végzett thoracotomia célja a vérzés megszüntetése és a fiziológás működések alapszintű megtartása, a contaminatio általában nem jelen problémát.

Első lépés: Primer feltárás és vérzéscsillapítás

Mellkassérültek kezelésében az anatómiai és élettani adottságok miatt a primer ellátás a végleges megoldást is kell, hogy jelentse. Mellkasi vérző beteg esetén nem feltétlenül a lebenyhatároknak megfelelő szabályszerű resectio végzendő. A vérzés megszüntetésére és a légutak biztosítására nagy átöltő öltések is alkalmasak a resectio után. A vérző terület jól

áttekinthetővé tehető széles lefogások között, így a vérzések egyenként leköthetők és a légutak kontrollálhatók. Érsérülések intraluminalis shuntképzéssel vagy Fogarty ballonnal kezelhetők abban az esetben, ha a kérdéses terület nem tárható fel. Légcsősérüléskor az átjárhatóság első lépésben áthidaló tubussal biztosítható. A bronchusok nagyobb sérülése esetén legjobb megoldás az érintett lebeny azonnali resectiója. A mellkasfal zárására nagy átöltő öltések a legalkalmasabbak, melyek megakadályozzák az izomzatból történő nagyobb vérvesztést.



41. ábra. Súlyos behatoló mellkassérülés a mellkasfal kiterjedt hiányával (Pellek S. anyagából).

Második lépés: Intenzív osztályos kezelés

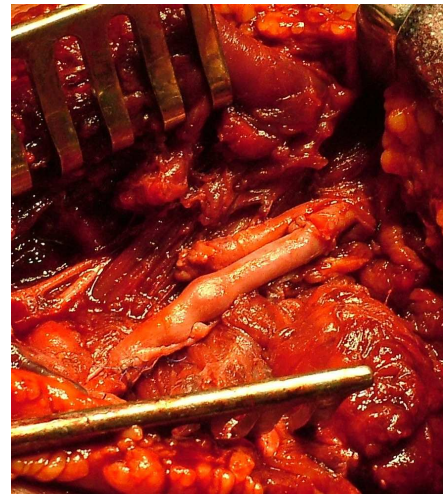
Megegyezik a hasi sérültek ellátásának második lépésével.

5.3.3.7. Végtagsérülések ellátása a damage control elvei szerint

A robbanásos végtagsérülések rendszerint más testtájak sérülésével egyidejűleg észlelhetők, ezért ellátásuk a hasi és mellkasi sérülések fenti elvek szerinti ellátásával párhuzamosan zajlik.

Első lépés: Primer feltárás, vérzéscsillapítás, törött csontok rögzítése, dekontamináció

Az életmentő testüregi beavatkozások után vagy azokkal párhuzamosan történik a vérzések csillapítása. A végtag keringési állapotának megítélése a végtag sorsa szempontjából alapvető. Valamennyi, keringésében visszafordíthatatlanul károsodott szövet eltávolítása szükséges. A lekötés vérzéscsillapításra, a shuntképzés a keringés azonnali helyreállítására alkalmas módszer. 2 órán túli vérkeringési elégtelenség a végtagi szövetek elhalásához vezethet. Az erek rekonstrukciója mindig primeren elvégzendő, célja a végtag keringésének helyreállítása, mely nélkül bármilyen egyéb beavatkozás eredménytelen lesz. Felső végtagi érsérülés esetén az arteria radialis vagy az arteria ulnaris leköthető amennyiben a másik arteria ép és a tenyéri arteriális íven keresztül a kéz vérellátása biztosított.



42. ábra. Arteria axillaris repeszésérülés primer pótlása vénagrafttal (a szerző felvétele).

A törések többsége nyílt, a debridement jelentősége a szövődményveszély miatt fokozott. Ezért az osteosynthesisben (OS) a nyílt törések kezelési elveinek legszigorúbb betartása kötelező érvényű. A törések és ízületi sérülések megítélésére legalább kétirányú RTG felvétel szükséges.

A nagy csöves csontok valamint a medence töréseinek rögzítése elengedhetetlen. Erre konzervatív és műtéti módszerek állnak rendelkezésre. Cél a megfelelő stabilitás elérése elsősorban a szállíthatóság miatt illetve a későbbi végleges töréskezelés lehetőség szerinti legjobb feltételeinek biztosítása. A leggyorsabb és megfelelő stabilitást biztosító eljárás a fixateur externe-k alkalmazása. A módszer lényege az extrafokális rögzítés biztosítása. Ezt nyílt törésben intrafokális antibiotikus kezeléssel (pl. GMMA lánc) egészítjük ki. Mélybe süllyesztett implantátumok alkalmazása az idővesztés és a fémanyag felületén mélyen a szövetek között végbemenő baktériumkolonizáció miatt kerülendő. A lehető legkisebb invazivitásra kell törekedni. Nagy elmozdulással járó medencetörések repozíciója és rögzítése a törött csontból történő nagy mértékű vérvesztést csökkenti a tört felszínek egyesítése által. Nagy vérvesztés esetén feltárásos műtéti vérzéscsillapítás szükséges a retroperitoneum kitamponálásával. A leggyorsabb medencerögzítési módszer pelvic clamp vagy egyéb külső rögzítő felhelyezése.

Műtétkor a végtagokon vértelenítő mandzsetta alkalmazása szükséges, amennyiben a sérülés elhelyezkedése ezt lehetővé teszi.

Kézcsontok töréseinek operatív rögzítése esetén főleg Kirschner-drótok használata javasolt, minimális fémanyag beültetés mellett.

Zárt, műtéti kezelést nem igénylő törések gipszben, vagy ortézissel rögzítendők.

A primer sebellátásban valamennyi sérült és szennyezett szövet radikális kimetszésére kell törekedni. A kialakult lágyrészhányokat nyitva kell kezelni. A felületek átmeneti fedésére az infectio szempontjából jól kontrollálható Epigard igen alkalmas. Igen jó eredmény érhető el a vákuum-asszisztált sebkezelési módszer alkalmazásával, mely a termelődő váladékot és a baktériumkolóniákat folyamatosan távolítja el és a granulációs szövetképződést serkenti. Nyílt törések és kiterjedt lágyrészkárosodások esetén a csont- és lágyrészférőzések kockázata igen nagy. Decontaminatio céljából a könnyen elérhető idegentesteket eltávolítjuk. A mélyen a szövetek között lévők eltávolítására nem feltétlenül kell törekedni, amennyiben az általuk okozott képletsérülés lehetősége nem áll fenn. A primer eltávolítás némely esetben aránytalanul nagy szövetroncsolással járna, fokozva a vérvesztést és növelve a műtéti időt. Amennyiben szükséges, a lágyrészekben lévő és panaszt okozó idegentestek stabil betegből sebgyógyulás után, választott időpontban eltávolíthatók. A testüregi és ízületen belüli

elhelyezkedésű valamint gyulladt, fertőzött környezetben lévő idegentestek ezzel szemben azonnal eltávolítandók.

Ízületbe hatoló robbanásos sérülések esetén arthrotomia végzendő. A debridement során valamennyi devitalizált csont- és porcdarabot, idegentestet eltávolítunk. Az ízület többszöri átmosása és öblítő drainézése legalább 5 napon át szükséges, a naponta 3-5 alkalommal végzendő öblítés során antibiotikum tartalmú oldatot alkalmazunk. A műtét végén az ízület drain felett zárható, a bőrsébet nyitva kezeljük. A sérült ízület gipszben vagy ortézisben rögzítendő.

A posztoperatív szakban a sérült végtag felpolcolása, hűtése fontos (oedema csökkentése, fájdalomcsillapítás). A gipszkötés felhasítása és végtag megfigyelése a későbbi duzzanat miatt elengedhetetlen. Compartment-szindróma veszélye miatt a végtag keringési és beidegzési állapotának folyamatos megfigyelése szükséges. Compartment-szindróma veszélyekor a fasciotomiát azonnal el kell végezni.

Amennyiben a végtag keringése nem biztosítható és a szövetek roncsolása kiterjedt, primer amputatio szükséges. Aknasérülések bekövetkeztekor legtöbb esetben az amputatio a robbanáskor bekövetkezik, ekkor már csak annak befejezése a feladat. A csonkot minden esetben nyitva kell kezelni.



43. ábra. Súlyos végtagsérült (Pellek S. anyagából).

Második lépés: Intenzív osztályos kezelés

Megegyezik a hasi és mellkasi sérültek ellátásának második lépésével.

Harmadik lépés: Végleges törésegysítés, csontpótlás, lágyrészhiányok fedése

Stabil betegen békés sebviszonyok mellett gyulladáso jelek hiányában végezhető el a kialakult lágyrészhiányok fedése. Keringésükben megtartott különféle lebenyek pl. fasciocutan lebeny mély lágyrészdefectusok fedésére alkalmas. Megfelelő lágyrészalappal

rendelkező felületes bőrhiányok félvastag szabad bőrlebenyekkel fedhetők, ezek közül rácsplasztikával kiterjedt defectusok is kezelhetők. Cél ez esetben nem a teljes azonnali fedés, hanem a hámosodás megindítása. Teljes értékű fedésre microvascularis lebenyek alkalmasak. A beteg állapotának stabilizálása, a sebek gyógyulása vagy legalábbis a lágyrészek megnyugtatóan gyulladásmentes állapotának kialakulása után választott időben végezhető el a végleges törésrögzítést célzó műtéti beavatkozások, melyekhez antibiotikus védelem szükséges. Ezekre rendszerint magasabb ellátási szinten kerül sor. Ugyanekkor nyílik lehetőség a csonthiányok csontpótlással történő megoldására. Legcélszerűbb az autolog csontgraft vagy spongiosus csont beültetése, de konzerv csont is jó eredménnyel alkalmazható. Igen jó módszer a vérlemezke géllal augmentált csontpótlási módszer, mely csont beépülését megrövidíti valamint baktriumellenes hatása is van (utóbbi tapasztalati tényeken alapul). Mesterséges csontpótló anyagok is jó eredménnyel alkalmazhatók. Amputatio esetén a csont másodlagos zárása is ekkor történik.

5.3.4. Speciális ellátási területek és formák

5.3.4.1. A kéz sérüléseinek ellátása

Kézsebészeti szempontból a másodlagos és a kevert sérüléscsoport bír nagyobb jelentőséggel, hiszen mind a repeszhatás, mind az égés-marás a lágyrészek kiterjedt károsodását okozza.

A robbanásos sérülések – a kis energiájú petárdabalesetektől eltekintve – igen gyakran kombinált jellegűek, tehát nemcsak egy testtáj érintettségével járnak. A kéz és a felső végtag csaknem mindig érintett, hiszen a robbanást megelőző manipuláció ezáltal történik. Kivételt a háborús aknasérülések képeznek, melyek döntően az alsó végtag roncsolását okozzák. Kombinált robbanásos sérülés esetén leggyakrabban az arc, a mellkas és a has érintett. Ez az ellátás taktikáját és sorrendiségét alapvetően meghatározza.

Kézszérülések ellátása a beteg általános állapotának stabilizálása után lehetséges. A kéz sorsát, az ellátás típusát és a későbbi funkciókat a kültakaró állapota, annak roncsolása határozza meg. Döntő különbség az egyéb, súlyos kézsérülésekhez képest az egyidejű mechanikai és hőkárosodás jelenléte. A roncsolás csaknem mindig igen kiterjedt és a sebek mindig szennyezettnek tekintendők. Emiatt, mint minden egyéb robbanásos sérülésnél, antibiotikus profilaxis kezdése javasolt. A megfelelő sebkimetszés jelentősége óriási, hiszen a roncsolás sokszor kiterjedtebb, mint az első ránézésre látható. Szinte valamennyi szöveti struktúra érintett („politraumatizált kéz”). A sebek primer zárása itt sem lehetséges, sőt katasztrófa- vagy háborús körülmények között tilos. A bőrben igen gyakran különböző méretű idegentestek (repszdarabkák, lőporszemcsék) találhatóak. A betegek műtét utáni szoros observációja szükséges. Bőrégés mélységétől függően kimetszést, fasciotomiát, decompressiót, strangulatiók oldását teszi szükségessé. Súlyosan roncsolt, keringésében jelentősen károsodott végtag esetében az amputatio némely esetben elkerülhetetlen.

Csont-ízületi sérülések rögzítése a primer ellátás során szükséges. Lehetőség szerint minimális fémanyag kerül beültetésre. Kirschner-drótok, cerclage, fixateur externe alkalmazása a leggyakoribb.

Érsérülés esetén a megmenthető végtag keringése szempontjából alapvető ereket primeren rekonstruáljuk.

Idegsérülés ellátása a második lépésben, a rekonstrukció részeként következik.

Ínsérülések ellátása szintén a rekonstrukció feladata.

A fenyegető compartement-szindróma miatt a decompressio a kézen is sokszor elkerülhetetlen.

A fentiek alapján készítettem az alábbi táblázatot.

Taktikai lépések a primer ellátásban:
1. Sebkimetszés, debridement, repeszek eltávolítása
2. Csonttörések rögzítése minimális fémanyaggal: Kirschner-drót, fixateur externe.
3. A keringés rekonstrukciója
4. Ízületi sérülés ellátása, drainage
5. Szöveti rések decompressiója
6. Nyitva kezelés
7. Amputatio mérlegelése
Második ülésben végzendő beavatkozások
1. Bőrpótlások
2. Ínsérülések rekonstrukciója
3. Idegsérülések ellátása
4. Csontpótlás
5. Csonk-korrekció, szükség szerint hüvelyképzés

12. táblázat. A kézsérülések ellátásának menete. (Saját táblázat)

A döntő különbség tehát a súlyos kézsérülések ellátásához képest az, hogy a sérülés a kéz tekintetében is kombinált jellegű, hiszen az esetek nagy részében a mechanikai és a hőhatás egyszerre éri a kezet. Nagyszámú idegentest jelenléte súlyosbítja a képet.

5.3.4.2. Fel nem robbant eszközök (unexploded ordnance, UXO) okozta sérülések ellátása

A sérültet a lehető legkevesebb mozgatással a talált pozícióban kell az ellátás helyére szállítani, megtartva a lövedék helyzetét ^[25]. Légi szállítás esetén a beteget elektromosan földelni kell, mert a helikopter rotorjának mozgása elektrosztatikus töltést hozhat létre. Tömeges sérültszám esetén az ellátást utolsónak kell ütemezni a robbanásveszély illetve a mentéshez szükséges hosszabb idő miatt. Cardiopulmonalis újraélesztés (CPR) vagy defibrillatio nem lehetséges ^[34]. Kerülni kell az elektromos és hőhatást, a vibrációt és az ultrahang hullámokat. Így nem használható az elektromos koaguláció, ultrahangkészülék vagy a test felmelegítésére szolgáló eszköz. Röntgensugárzás nem vezet a detonáció beindulásához, így RTG felvétellel pontosan tisztázható a lövedék elhelyezkedése. A beteget a fő ellátó helytől távol, jól elkülönítve kell elhelyezni, lehetőleg homokzsákokkal kell körülvenni. Csupán a minimális ellátó személyzet vehet részt a folyamatban, akik megfelelő tűzszerészeti védőeszközöket viselnek. Az eltávolító team-ben tűzszerész lehetőleg vegyen részt. A minimális anesztézia szükséges csupán és az altató személyzet később elhagyja az ellátó helyet. Oxigénpalackok eltávolítandók. A lövedéket egyben, minimális mozgatással kell eltávolítani anélkül, hogy bármilyen fém eszköz hozzáérne ^[25].

A fel nem robbant lövedék eltávolításának szempontjai
1. Tűzszerész team értesítése és megérkezése
2. CPR és elektromos eszközök használata tilos
3. A sérült elkülönítése védett helyen
4. Az ellátók védőfelszerelést viselnek
5. Elektromos koagulátor, egyéb elektromos készülék, infúziós melegítő használata tilos
6. Vibrációs hatások, hőmérsékletváltozás és a lövedék mozgatása kerülendő
7. Normál RTG felvétel készítendő, CT vagy ultrahang tilos
8. Minimális anesztézia szükséges, az aneszteziológiai team elaltatás után távozik
9. Csak a sebész és asszisztense (tűzszerész) van jelen
10. A lövedék eltávolítása irányának megváltoztatása nélkül, ezután a tűzszerésznek való átadása
11. A sérült átszállítása a műtőbe definitív ellátásra

13. táblázat. A fel nem robbant lövedékek eltávolításának menete. (Lein B, Holcomb J, Brill S: Removal of unexploded ordnance from patients: a 50-year military experience and current recommendations. Mil. Med. 164:163, 1999 alapján)

6. Összefoglalás

6.1. Az elvégzett tudományos tevékenység összegzése

A rendelkezésre álló nemzetközi szakirodalmi adatokat folyamatosan tanulmányoztam. A témában tudományos eredményeimet hazai és nemzetközi fórumokon tudományos fórumokon előadások során illetve írásos publikációk formájában tettem közzé.

A robbanásos sérültek ellátása során a gyakorlatban vizsgáltam és alkalmaztam a betegek műtéti ellátásának lehetséges módjait, kiegészítve azokat az intenzív osztályos kezeléssel. 1994-2009. között békeidőben 7 civil sérült műtéti és intenzív osztályos kezelésében működtem közre. Ugyanezen időszak alatt békeidőben katonai balesetek kapcsán 6 katonasérült kezelésében vettem részt. 2006-2010. között 21 civil és katonasérült műtéti kezelését végeztem műveleti területen, előre kialakított trauma team tagjaként. Az ellátás során a damage control elveit messzemenően alkalmazva a sérültek nagy része túlélte a sérülést. A békeidőben ellátott betegek esetében – amennyiben szükséges volt – helyreállító sebészeti beavatkozásokat végeztem. Hasonló rekonstrukciós műtéteket hajtottam végre műveleti területen olyan betegeken, akik hosszú távú gyógykezelésére nyílt lehetőség. Műveleti területen 15 életét veszített sérült adatait dolgoztam fel.

6.2. Következtetések, új tudományos eredmények, tézisek

1. Magyarországon elsőként dolgoztam fel robbanásos sérültek kezelésében szerzett saját tapasztalatokat.
2. Az általam kezelt betegek adatainak feldolgozása során megállapítottam, hogy a robbanást túlélők sérüléseikért legnagyobb számban a repeszhatás, azaz másodlagos sérülési mechanizmus felelős, melynek közvetlen életveszélyt okozó formája a testüregbe hatoló sérülés. Az ellátásban az elsődlegesen ellátásban elkövetett hibák korrigálása során világossá vált, hogy az ezirányú alapos kivizsgálásra minden esetben szüksége van.
3. A halottak adatainak vizsgálatának alapján megállapítottam, hogy robbanás színhelyén bekövetkező azonnali halálozás oka a robbanásos túlnyomás eredményezte elsődleges sérülés volt. Ezek között a közvetlen közelben tartózkodók szétszakításos és amputációs sérülései voltak dominánsak.
4. A sokktalanítóban, a műtőben és az intenzív osztályon kezelt betegek ellátása során megállapítottam, hogy a korai ellátási szakban bekövetkező halálozást az elláthatatlan, repeszektől származó testüregi sérülés valamint a súlyos, kiterjedt égés okozta.
5. A fenti három pont alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a robbanást túlélők kezelése döntően sebészeti feladat, hiszen az elsődleges mechanizmus okozta tüdőelváltozásokkal egyéb, élettel nem összeegyeztethető sérülések keletkeztek.
6. A saját tapasztalatok és a nemzetközi szakirodalmi adatok alapján Magyarországon elsőként elméleti összefoglalást készítettem a robbanásos sérülések keletkezésére és ellátására vonatkozóan.
7. Az általam elvégzett klinikai és kutatómunka eredményeire alapozva a robbanásos sérültek ellátására szakmai protokollt dolgoztam ki, melyet az alábbiakban ismertetek. A fenti témakörben magyar nyelvű szakmai protokoll eddig nem jelent meg.
8. A protokollt 2010 februárjában Afganisztánban az ISAF Északi Körzet Parancsnokság (ISAF RCN) Egészségügyi Szolgálatára használatra elfogdta és a gyakorlatba bevezette.
9. Nemzetközi orvoscsoportban műveleti területen tevékenykedve arra a következtetésre jutottam, hogy a súlyos sérültek, így a robbanást szenvedettek sebészeti kezelése leghatékonyabban előre meghatározott trauma teamek által történhet. A csoport végtagssebészből, általános sebészből, aneszteziológus orvostól, aneszteziológiai asszisztensből és egy vagy két nővérből áll. Egy team egy sérült ellátását végzi, tevékenysége a sokktalanítástól a végleges műtéti ellátásig tart. Átjárás csak szakmai igényeknek megfelelően lehetséges.
10. A robbanásos sérülések ellátása a sérülés jellegéből fakadóan komplex feladat, melynek elvégzése gyakran összkórházi munka keretein belül (baleseti sebész, sürgősségi orvos, aneszteziológus, radiológus, idegsebész, általános sebész, urológus, fül-orr-gégész, szemész, égéssebész, szájsebész) meghatározott rendben és szabályok szerint történik. Ebben vezető szerepe van a sebésznek és az aneszteziológusnak. Az ellátás két fő területe ennek megfelelően a sebészeti típusú beavatkozások végzése, valamint az intenzív osztályos kezelés. Ez szükség szerint a fenti társszakmák képviselőinek bevonásával egészül ki. A robbanásos sérültek – csakúgy, mint egyéb súlyos sérültek – azonnali, szakszerű ellátására a baleseti és sürgősségi osztályoknak készen kell állniuk, amely osztályokon valamennyi társszakma képviselőjének elméletben és gyakorlatban egyaránt ismernie szükséges ezen sérülések ellátásának alapelveit. Ehhez oktatási tervet dolgoztam ki.

6.3. A robbanásos sérülések ellátásának potokollja

Az ellátás a protokoll szerint két fő szakaszra osztható.

6.3.1. A prehospitális ellátás protokollja

1. A robbanásos esemény helyének, jellegének és mértékének tisztázása.
2. A mentést végzők biztonságának biztosítása: műszaki helyszínbiztosítás (épület omlása, tűzoltás, vegyi mentesítés), műveleti területen katonai biztosítás.
3. A sérültek számának meghatározása és a sérülések mértékének felmérése. Helyszíni betegosztályozás.
4. Műszaki mentés pl. betemettetés alkalmával. Műszaki mentesítés aknazár jelenlétekor.
5. Az egyes sérülteknél légút- és légzésbiztosítás, keringés fenntartása. Szükség szerint újraélesztés. A sérült kihülésének megakadályozása.
6. A beteg monitorozása, légzéskontroll pulsoxymetriával. Légzési elégtelenség alkalmával intubatio, lélegeztetés túlnyomás mellőzésével. Feszülő légmell létrejöttékor mellkascső behelyezése.
7. Vérzéscsillapítás súlyos végtagi roncsolás vagy amputatio esetén torniquet segítségével. Helyi vérzéscsillapító szerek alkalmazása.
8. Fájdalomcsillapítás, szedáció.
9. A sérült immobilizálása vákuummatracban a gerinc-, medence- és végtagtöréseket kizáró rtg diagnosztika megtörténteig. Stiff neck felhelyezése a nyaki gerinc rögzítésére minden esetben.
10. Égett sérült esetén a megégett testfelület hűtése és fedése az esetlegesen rendelkezésre álló „Burn Pack” eszközökkel, vagy akár vízzel. Ezzel párhuzamosan a kihülés megakadályozása hőszigetelő fóliával.
11. Folyadékpótlás megkezdése, perifériás venabiztosítás. Amennyiben nyitott vena nem készíthető, a bevitel intraossealis injectio segítségével is megoldható. Nem égett és nem koponyasérült betegnél a permisszív hypotensio alkalmazása mérlegelendő abban az esetben, amennyiben a beteg megfelelő folyamatos észlelése megoldható.
12. A sebzések fedőkötéssel való ellátása, törött végtagok, ficamodott ízületek rögzítése.
13. Fel nem robbant eszközök (UXO) elmozdulásának megakadályozása. Mindennemű elektromos tevékenység azonnali beszüntetése. Mobil telefonok kikapcsolása. Fém és kémiai anyagokkal való kontaktus megszüntetése. A mentést végzők létszámának minimalizálása és személyi védelmük biztosítása.

6.3.2. A hospitális ellátás protokollja

A következőkben az ellátás szakaszokra történő felosztása kerül ismertetésre, mely műveleti területen a Role szerinti tagozódást követi, békekörülmények között az egyes szakaszok egy intézményen belül valósulnak meg.

6.3.2.1. Első szakasz

1. A sérültek ismételt osztályozása e célra elkülönített helyen.

2. Az egyes sérültek esetén légút- és légzésbiztosítás, keringés fenntartása. Szükség esetén újraélesztés. A sérült kihülésének megakadályozása.
3. A beteg monitorozása, légzéskontroll pulsoxymetriával. Légzési elégtelenség esetén intubatio, esetleg tracheostomia. Lélegeztetés túlnyomás mellőzésével. Feszülő légmell vagy akut légzési elégtelenség esetén mellkascsövezés.
4. Fájdalomcsillapítás, szedáció.
5. Folyadékpótlás folytatása. Centralis venabiztosítás. Nem égett és nem koponyasérült betegnél a permisszív hypotensio alkalmazása mérlegelendő.
6. Azonnali AP mellkas (blast lung diagnosztikája), AP medence és 2 irányú nyaki gerinc RTG elkészítése. Hasi ultrahang vizsgálat, amennyiben ez nem áll rendelkezésre, vélhető hasüregi vérzés alkalmával hasüri peritoneális öblítés. Törések gyanúja esetén az adott régió RTG vizsgálata. Amennyiben CT vizsgálat rendelkezésre áll, teljes test spirál CT vizsgálat javasolt (trauma scan: koponya, gerinc, mellkas, has, végtagok). Az áttekintő rekonstrukciós mellkas CT kép nem mellőzhető, amennyiben ez nem megoldható, mellkasi AP RTG elengedhetetlen. Ugyanígy csonttörések esetén a CT az RTG vizsgálatot nem minden esetben helyettesíti.
7. Sürgősségi vérvétel laborvizsgálatra. Antibiotikum intravénás adása terápiás dózisban: széles spektrumú cefalosporin (cefazolin 3x1 g) javasolt, de bármilyen első generációs cefalosporin megfelelő a leginkább károsító Clostridiumok és Streptococcusok ellen. Tetanus védelem, LMWH profilaxis, amennyiben nem ellenjavallt.
8. Damage control surgery (elsősorban kihülés, acidosis és coagulopathia esetén), mely a reanimatio része. Ennek során azonnali vérzéscsillapítás leköttéssel, tamponálással vagy shuntképzéssel. A májból eredő vérzés csillapítása fibrintartalmú helyi vérzéscsillapító anyag (Tachocomb, Tachosyl) segítségével. A sérült lép vagy vese eltávolítása. A roncsolt bélszakasz vagy tüdőszövet akár atípusos resectiója. Tüdő- vagy szív-sérülés ellátása (varrat). Koponyaüri nyomásfokozódás esetén koponyafúrás, kamrai drain behelyezése. Medence stabilizáció vérzéscsillapítási céllal külső rögzítővel (fixateur externe), szükség szerint retroperitonealis tamponálás. A hasüreg fenyegető compartement szindróma esetén vákuumasszisztált szívórendszer segítségével nyitva kezelhető. A végtagi csonttörések extrafokális rögzítése külső rögzítővel, fasciotomia szükség szerint. Nyitott ízületek drainálása. Sebellátás: radikális kimetszés, necrectomia. Idegtestek eltávolítása, amennyiben lehetséges. A sebek zárása tilos, minden esetben nyitva kezelendők. Vákuum-asszisztált nyitott sebkezelés ajánlott. A keringés helyreállítása, amennyiben nem lehetséges, illetve a roncsolás nagymértékű, amputatio („life over limb”).
9. Égett sérült esetén primer necrectomia, hegkimetszés, esetleg fasciotomia végzése. Légúti égéskor a tartós lélegeztetés miatt tracheostomia mérlegelendő.
10. Intenzív osztályos elhelyezés, lélegeztetés minimális túlnyomással (max. 40 vízcmm).

6.3.2.2. Második szakasz

1. Intenzív osztályos kezelés.
2. Ismételt műtéti feltárás 24-48 óra elteltével (second look). A hasüregi vérzések kontrollja, bélresectio után a bélcsontk előemelése a hasfal elé definitív módon.
3. Sebrevíziók. Vákuum-szívó szivacs cseréje 4 naponként.
4. Égett felületek necrectomiája.

6.3.2.3. Harmadik szakasz

1. A hasüreg zárása.
2. Végleges osteosynthesis módszerekre való áttérés.
3. Bőrpótlások.
4. Septicus folyamatok szanálása.

6.3.2.4. Negyedik szakasz

1. Rekonstrukciós műtétek. Csont- és lágyrészpótlás. Álízületek szanálása. Bélcatorna rekonstrukció. Mozgásjavító műtétek. Végtaghosszabbítás. Fogóképeség javítása, hüvelykujj képzés.
2. Rehabilitációs kezelés.
3. Protetika.

6.3.3. Oktatási terv

6.3.3.1. Szakorvosképzés

A protokoll kerüljön oktatásra a szakorvosképzésben a következő szakterületeken: sebészet, traumatológia, ortopédia, idegsebészet, érsebészet, aneszteziológia és intenzív terápia, katonai és katasztrófaorvosstan, oxiológia, sürgősségi orvosstan.

A szakorvosjelöltek ismerjék meg a robbanások fajtáit és a keletkező sérülések jellegét illetve azok kezelésének alapelveit a damage control alapján.

6.3.3.2. Katonaegészségügyi képzés

A protokoll és a robbanásos sérülések ellátásának alapelvei kötelező jelleggel szerepeljenek a katonai egészségügyi állomány valamennyi tagjának kiképzésében orvosi, asszisztensi és ápolói szinten.

Ápolók és asszisztensek: az oktatásnak azon célt kell szolgálnia, hogy részletesen ismerjék meg a robbanó szerkezetek és robbanások típusait és az általuk okozott sérülések pontos mechanizmusát. Legyenek képesek továbbá az alapvető eszköz nélküli és eszközös életmentő beavatkozások végzésére.

Katonarvosok: A fentiek mellett készségi szinten sajátítsák el a kezelés lépéseit valamennyi ellátási szinten a fenti protokoll alapján. Sebész végzettségűek bármikor legyenek képesek a damage control surgery típusú beavatkozások végzésére.

6.3.3.3. Kiképzés

A robbanásos sérülések ellátásának alapelvei szerepeljenek a harcoló állomány valamint a „combat medic” kiképzésben.

Harcoló állomány: a robbanó szerkezetek és a robbanások fajtáinak megismerése. Az általuk okozott sérülések ismerete. Alapvető, eszköz nélküli életmentő beavatkozások elsajátítása.

Combat medic: a fentiek mellett az eszközös újraélesztés, vénabiztosítás készség szintű elsajátítása.

6.4. Ajánlások

Az alábbiakban a megszerzett tapasztalatok és az ellátás során nyert adatok feldolgozása alapján a megalkotott protokollt ajánlom a robbanásos sérültek ellátására, mely mind a Magyar Honvédség egészségügyi intézményeiben és a műveleti területeken a nemzetközi haderők egészségügyi ellátó helyein valamint Magyarországon a polgári egészségügyi intézményekben és az Országos Mentőszolgálatnál bevezethető, alkalmazható és oktatható. Az oktatás megvalósítására a fentiekben vázolt oktatási tervet ajánlom, amely a NATO Egészségügyi Kiválósági Központ által szervezett továbbképzéseken a NATO országok egészségügyi szolgálataira számára is egységesen alkalmazható.

7. Rövidítések és idegen kifejezések jegyzéke

ANDO, ANFO: ammónium-nitrát és dízelolaj tartalmú robbanóanyag.

AIDS (acquired immune deficiency syndrome): szerzett immunelégtelenség szindróma.

ARDS (acute respiratory distress syndrome): akut légzési elégtelenség szindróma.

BLI (blast lung injury): robbanásos tüdőszérülés.

BOP (blast overpressure): robbanásos túlnyomás.

Brizancia: a robbanás helyi hatásának illetve annak a teljesítménynek a mértéke, amely a robbanóanyagból detonációkor felszabadul és képessé teszi hasznos munka végzésére. A robbanási sebességtől és a keletkező nyomás nagyságától függ.

CIMIC (civilian-military cooperation): civil-katonai együttműködés.

CT (computer tomography): számítógépes rétegvizsgálat.

Damage control surgery: Élet- és végtagmentő primer sebészi ellátás.

DIC (disseminált intravascularis coagulatio): érpályán belüli véralvadási zavar.

EBW (enhanced blast weapon): megnövelt hatású robbanóeszköz. A robbanás hatásain kívül kémiai-toxikus és biológiai ágensek, esetleg ionizáló sugárzás szerepelnek a pusztító hatások között.

EEG (elektroencephalographia): elektromos agyi működés vizsgálat.

EFP (explosive formed projectile): harckocsi oldal elleni speciális páncéltörő lőszer. A lőszer alakját a robbanás hozza létre.

EKG (electrocardiographia): elektromos szív működés vizsgálat.

EOD (explosive ordnance disposal): tüzserészeti tevékenység, robbanó szerkezetek hatástalanítása és eltávolítása.

EMG (electromyographia): elektromos izomműködés vizsgálat.

ESBL (extended spectrum beta lactamase): általában E. coli vagy Klebsiella baktériumtörzsek által termelt enzim (béta-laktamáz), amely penicillinekkal és cephalosporinokkal szemben ellenállóvá teszi azokat.

FAE (fuel air explosive): aeroszol robbanóanyag. Valamilyen erősen gyúlékony anyaggal pl. üzemanyaggal megnövelt hatású robbanóeszköz. Az elsődleges robbanás erősen gyúlékony anyagot (benzin, egyéb üzemanyag) gőzszerű állapotban permetez szét, mely oxigénnel keveredve nagy erejű másodlagos robbanást hoz létre.

Fixetaur externe: külső csonttrögztítő eszköz.

GCS (Glasgow Coma Scale): A tudati állapot megítélésére szolgáló pontrendszer.

HCV (hepatitis C virus): C típusú májgyulladás vírus.

HE (High-order explosive): magas hatóerejű robbanószer. Hangsebességgel terjedő túlnyomásos hullám jellemzi.

HEAT (high explosive antitank): magas hatóerejű, harckocsi elleni robbanó lövedék.

HIV (human immunodeficiency virus): szerzett emberi immunelgtelenség (AIDS) vírusa.

HMMWV (high-mobility multipurpose wheeled vehicle): nagy mozgékonyaságú, többfunkciós kerek jármű.

IED (improvised explosive device): házi készítésű robbanó eszköz. Különbféle robbanóanyagokból és barkácsolt időzítőszerekkel ellátott, változó kivitelű robbanóeszközök. Terrortámadások jellemző fegyvere.

ISAF (International Security Assistance Forces): Afganisztánban állomásozó nemzetközi haderő.

ISAF RCN (ISAF Regional Command North): ISAF Északi Körzeti Parancsnokság.

ISS (injury severity score): sérülés súlyosságának megítélésére szolgáló beosztás.

KFOR (Kosovo Force): Koszovóban állomásozó nemzetközi haderő.

kHz (kilohertz): a frekvencia SI szerinti mértékegysége.

kPa (kilopascal): a nyomás SI szerinti mértékegysége. 1 bar=100 kPa, 1 atm=101.325 kPa, 1 psi=6.89476 kPa.

LE (low-order explosive): alacsony hatóerejű robbanószer. Hangsebesség alatt terjedő nyomáshullám jellemzi.

LMWH (low molecular weight heparin): alacsony molekulásúlyú heparinszármazék.

MCI (mass-casualty incident): tömeges (30 vagy annál több) sérült keletkezésével járó esemény.

MeS (Mazar e Sharif): észak-afganisztáni város.

MOF (multi organ failure): sokszervi elégtelenség.

MRSA (methicillin-resistant Staphylococcus aureus): béta laktamáz enzimmel rendelkező Staphylococcus aureus baktériumtörzs, mely ellenállóvá teszi azt penicillinekkal és cephalosporinokkal szemben.

MTBI (mild traumatic brain injury): enyhe központi idegrendszeri sérülés.

OS (osteosynthesis): csonttörések műtéti rögzítési módszereinek összefoglaló elnevezése.

PBI (primary blast injury): elsődleges robbanásos sérülés.

PeK (Pol e Khomri): észak-afganisztáni város.

Pelvic clamp: medencetörések külső rögzítésére alkalmas eszköz.

PFIB: perfluor-izobutilén.

PMN leukocyt : polymorphonuclearis leukocyt.

PTSD (post traumatic stress disorder): sérülést követő stresszbetegség.

PTX (pneumothorax): légmell.

RPG (angolul rocket-propelled grenade, oroszul rucsnoj protivotankovij granatamljot): hátrasiklás nélküli reaktív páncéltörő. Rakétaelven működő aknagránát, többnyire vállról indítható, nagy robbanóerejű eszköz. Az angol és orosz rövidítések azonossága véletlen egybeesés.

RTG: röntgen.

Second look : második ülésben végzett ismételt sebészeti feltárás.

SFOR (Stabilisation Force): Bosznia-Hercegovinában állomásozó nemzetközi haderő.

TASC (tactical abbreviated surgical care): gyorsított, életmentő sebészeti kezelés műveleti területen.

TBI (traumatic brain injury): traumás agyállományi sérülés.

Triage: sérültosztályozás.

UXO (unexploded ordnance): fel nem robbant robbanó szerkezet.

8. Függelék

8.1. A robbanóanyagok fontosabb fizikai jellemzői

D - Detonációsebesség (m/s): A detonációs front lineáris terjedési sebessége a robbanóanyagban.

Q - Robbanáshő (kJ/kg): 1 kg robbanóanyag tökéletes robbanási átalakulása során állandó térfogat mellett felszabaduló, elméletileg meghatározott hőmennyiség.

V - Fajlagos gáztérfogat (l/kg): 1 kg robbanóanyag gáztermékeinek térfogata 1 bar nyomáson és 0 °C hőmérsékleten.

O - Oxigénegyenleg (g/100 g %): 100 g robbanóanyagban található és 100 g robbanóanyag összes éghető komponensének oxidálásához szükséges oxigén különbsége g-ban.

	D- Detonációsebesség (m/s)	Q- Robbanáshő (kJ/kg)	V- Fajlagos gáztérfogat (l/kg)	O-Oxigénegyenleg (g/100g %)
Katonai brizáns robbanóanyagok				
Hexogén	8750	6025	798	-21.6
Oktogén	9100	6092	782	-21.6
Tetrit	7570	5527	672	-47.4
TNT (trotil)	6900	5066	620	+73.9
DNT, dinamitok	6440	4885		-114.4
Nitrogicerin	7600	6322	715	+3.5
Pikrinsav (melinit)	7350	5025	610	-45.4
Nitropenta (petin)	8400	5895	780	-10.1
Nitrocellulóz	6800	1050	765	
Semtex	7200	4980	950	-66
Ipari brizáns robbanóanyagok				
Robbanó zselatinok	7700	6473	1323	+0.6
Paxit	3500	3980	930	-
Ammónium-nitrát, ANDO, ANFO	2000-3000	1601	980	>50
Iniciáló robbanóanyagok				
Durránóhigany	5400	1468	-	-11.2
Ólomazid	5300	2866	308	-5.5
Ballisztikus robbanóanyagok				
Fekete lőpor	400	-	-	-

14. táblázat. Néhány robbanó anyag jellemzői.

8.2. Sérültek kimentésére és szállítására használt eszközök műveleti területen

Harctéri körülmények között történő földi mentésre a Bundeswehr kizárólag speciálisan kialakított páncélozott TPz 1A4/A4A1 „Fuchs” járműveket használ. Személyzete 1 orvos, 1 szakképzett ápoló, 1 járművezető, aki ápolói képzettséggel is rendelkezik. Lélegeztetési lehetőség mellett 1 fekvő beteg szállítására alkalmas. Páncélzat nélküli járművek kizárólag őrzött területen belül való szállításra használatosak. A Magyar Honvédségnél BTR-80 típusú járműből kialakított páncélozott mentő áll rendelkezésre, mely 1 beteg szállítására alkalmas. A földi mentést műveleti területen ezen kívül páncélzat nélküli mentőgépkocsik végzik.

A Luftwaffénél a légi mentésre használt CH-53 GS helikopterek személyzete a hajózó és biztosító állományon (4+3 fő) kívül 1 orvos és 2 szakképzett ápoló, mely szükség szerint 1 fő orvossal bővíthető. A jármű egyidőben 1 lélegeztetett, 2 súlyos és 2 ülő (könnyű) sérült szállítására alkalmas.

A Luftwaffénél az evakuációra használt C160 típusból kialakított merevszárnyú légi jármű fedélzetén szolgálatot teljesítő hajózó állomány 5 főből, az egészségügyi szakszemélyzet 12 főből áll. Egyidejűleg 2 lélegeztetett, intenzív terápiát igénylő sérült, 7 súlyos sérült, 4 ülő sérült szállítására alkalmas.



44. ábra. TPz 1A4/A4A1, BTR-80, CH-53 GS, C-160 típusú sérültszállító eszközök (a szerző felvételei).

8.3. Egyéni védőfelszerelések

A testüregi sérülések kivédése céljából különféle, főleg a repeszhatás mérséklésére szolgáló sisakok és mellények kerültek kifejlesztésre. A Magyar Honvédségnél rendszeresített repeszálló mellény előnye a vastag többrétegű kevlar anyag és a mellső illetve hátsó oldalon

behelyezhető kerámia betét, mely igen nagyfokú védelmet nyújt viselőjének. Igen nagy hátránya azonban az, hogy nem nyitható egyik irányban sem, így a fel- és levétel a fejen való áthúzással lehetséges csak. Sérülés esetén ilyen módon a sérültről igen nehezen távolítható el, legalább két személy közreműködését igényli. Esetleges gerincsérülés esetén az eltávolítás a háti és nyaki gerincszakasz kényszerű mozgatásával a sérülés súlyosbodását, harántlaesiót, ennél fogva bénulást, esetleg halált okozhat. Újraélesztés esetén a nehézkes eltávolítás jelentős idővesztést okozhat, mely akár végzetes következményekkel járhat.

A mellény fejnyílása igen szűk, a fel- és levétel csak a sisak és a védőszemüveg, esetleges dioptriás szemüveg eltávolítása után lehetséges. Ez idővesztést okoz és a katona átmeneti harcképtelenségét eredményezi.

Az acélsisak előnye, hogy a lövedékek és repeszek könnyen lecsúsznak a felületéről. A kevlar sisakkal szemben hátránya azonban az, hogy az energia kis helyen koncentrálódik, míg kevlar esetén a sisak anyagának egészére áttevéődik.

8.4. Az egészségügyi ellátás szintjei műveleti területen ¹

Az egészségügyi ellátás szintjei az úgynevezett Role-ok szerint tagozódnak. Az elnevezések és a feladatkörök a NATO-n belül sem teljesen egységesek.

A sérültek a sérülés helyén **ön- és kölcsönös segély**ben részesülnek, melyet két további személy folytat a kiürítésig. Az **combat lifesaver** a harcoló szakasz olyan kiképzettségű tagja, aki a kiterjesztett elsősegélynyújtási képességgel rendelkezik. A **combat medic** az egészségügyi szakasz szintjét képviseli és az alapvető helyszíni életmentő beavatkozások képességével és felszerelésével rendelkezik.

A szakaszos ellátás és kiürítés szintjei szárazföldi csapatoknál a következők.

Role 1 (Battalion Aid Station)

Zászlóalj szintű általános orvosi ellátó egység. Fő tevékenységi köre a sérültosztályozás, a sérültek állapotának stabilizálása a kezelés megkezdésével. Könnyű sérültek ellátásuk után visszakerülnek szolgálati helyükre. A további kiürítés magasabb szintű ellátó helyre innen történik. Sebészeti és fektető kapacitással általában nem rendelkezik.

Kibővítve Role 1+ szinten sebész és aneszteziológus szakorvossal kiegészítve 1 műtőasztalon limitált életmentő sebészeti kapacitás és átmeneti intenzív osztályos elhelyezés rendelkezésre áll.

Role 2 (Medical Treatment Facility)

Az ellátás a Role 1 teljes tevékenységi körén túl a következőkkel egészül ki.

Forward surgical team integrációja esetén életmentő sebészeti ellátás, mely általános, végtagsebészeti és alapvető idegsebészeti beavatkozások elvégzésére képes. 2 műtőasztalon 3 általános sebész és 1 végtagsebész 2 aneszteziológiai teammel napi 10 műtétet végezhet maximum 72 órán át. Posztoperatív intenzív osztály rendelkezésre áll maximum 8 ágyal maximum 6 órán át.

Laboratórium. 40 E vér 72 órás tárolása. Röntgen. Fogászat. Betegdokumentációs egység.

Role 2+ szinten az ellátás további diagnosztikai és szakorvosi szintekkel bővül ki (CT, urológia, idegsebészet, belgyógyászat, maxillofaciális sebészet, fül-orr-gégészet, szemészet, neuropszichiátria).

¹ A csoportosítás alapja: Lounsbury D.E. (editor): Emergency War Surgery, Third United States Revision, 2004, 2.1-2.10

Role 3 (Combat Support Hospital)

A legmagasabb, mátrix rendszerű egészségügyi ellátóhely a műveleti területen belül, mely kiterjesztett fektetési kapacitással is rendelkezik. A képességek a Role 1-2 teljes tevékenységi körén túl a következők.

A sebészi kapacitás maximum 8 műtőasztalig bővül (egyenként napi 18 műtéti órással) ahol általános és végtagsebészeti, idegsebészeti, urológiai és maxillofaciális sebészeti beavatkozások zajlanak.

Az intenzív ágyak száma több osztályra tagozódóan maximum 96, a fekvőbeteg osztályok összesen 140 ágygal rendelkeznek. Ezt egészíti ki maximum 40 ágygal a neuropszichiátriai osztály és a minimálterápiás sérültek maximum 40 ágyas részlege.

Laboratórium + vérellátó: 150 E vér tárolása. Röntgen + CT. Fogászat. Gyógytorna-fizioterápia

Role 4 (Field Hospital, General Hospital)

Műveleti területen kívüli egészségügyi ellátó hely, ahol a kapacitástól függően bármilyen típusú betegellátás végezhető, beleértve a rekonstrukciós sebészeti beavatkozásokat valamint az utókezelést és a rehabilitációs kezelést.

9. Irodalom

1. Alfici R., Ashkenazi I., Kessel B.: Management of Victims in a Mass Casualty Incident Caused by a Terrorist Bombing: Treatment Algorithms for Stable, Unstable, and in Extremis Victims. *Military Medicine*. 2006; Vol. 171: 1155-1162.
2. Baxter P.J., Gresham A.: Deaths and injuries in the eruption of Galeras Volcano, Colombia, 14 January 1993. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1997; Vol. 77. No. 1-4: 325-338.
3. Bowyer G.W.: Management of small fragment wounds: experience from the Afghan border. *J Trauma*. 1996; 40:S170.
4. Cernak I., Savic J., Ingjatovic D., Jevtic M.: Blast Injury from Explosive Munitions. *The Journal of Trauma: Injury, Infection and Critical Care*. 1999; 47 1 96-104.
5. Cernak I., Savic J., Zunic G., Pejnovic N., Jovanikic O., Stepic V.: Recognizing, Scoring and Predicting Blast Injuries. *World J. Surg*. 1999; 23: 44-53.
6. Cernak I., Wang Z., Jiang J., Bian X., Savic J.: Ultrastructural and functional characteristics of blast injury-induced neurotrauma. *J Trauma*. 2001 Apr; 50(4): 695-706 Blast Overpressure

7. Cooper G.J., Townend D.J., Cater S.R.: The Role of Stress Waves in Thoracic Visceral Injury. *J Biomech* 1991; 24: 273-285
8. Cooper G.J.: Protection of the Lung from Blast Overpressure by Thoracic Stress Wave Decouplers. *J Trauma* 1996; 40 (Suppl 3): S105-S110
9. Cooper G.J., Maynard R.I., Cross N.L., Hill J.F.: Casualties from Terrorist Bombings. *J Trauma*, 1983; 23(11): 955-967.
10. Coppel D.L.: Blast Injuries to the Lungs. *Br. J. Surg.* 1976, 63: 735-737.
11. Coupland R.M.: War wounds of limbs: surgical management. Oxford, 1993, Butterworth-Heinemann Medical.
12. Davis T.E.: Asymmetric War (Terrorism) and the Epidemiology of Blast Trauma. 2004, www.bt.cdc.gov/coca/ppt/masstrauma.ppt (Accessed October 2004)
13. Frykberg E.R., Tepas J.J.: Terrorist bombings: Lessons learned from Belfast to Beirut. *Ann. Surg.* 208: 569, 1998.
14. Gorbunov N.V., McFaul S.J., Van Albert S., Morrissette C., Zaucha G.M., Nath J.: Assessment of inflammatory response and sequestration of blood iron transferrin complexes in a rat model of lung injury resulting from exposure to low-frequency shock waves. *Crit Care Med.* 2004 Apr; 32(4): 1028-34 Blast Overpressure
15. Guy R.J., Glover M.A., Cripps N.P.J.: The Pathophysiology of Primary Blast Injury and its Implications for Treatment. *J R Nav Med Serv* 1998; 84: 79-86
16. Hetzman T. L., Gorove L.: Permisszív hypertensio és új szemlélet a súlyos sérültek ellátásában, avagy merjünk ne adni. *Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai sebészet*, 2009. LII. 3: 276-282.
17. Hill P.F., Edwards D.P., Bowyer G.W.: Small fragment wounds: biophysics, pathophysiology and principles of management. *JR Army Med Corps.* 2001; 147:41.
18. Hirshberg B., Oppenheim-Eden A., Pizov R., Sklair-Levi M., Rivkin A., Bardach E., Bublil M., Sprung C., Kramer M.R.: Recovery from Blast Lung Injury – One-Year Follow-up. *Chest.* 1999; 116: 1683-1688.
19. Holluba H.: Sprengtechnik. *Österreichischer Gewerbeverlag*, 1993. II. C.: A robbanóanyagok hatása az emberi szervezetre - ford. Haralyi L. *Műszaki Katonai Közlöny*, 1994/2; pp.25-28.
20. Horrocks C.L.: Blast Injuries: Biophysics, Pathophysiology and Management Principles. *J R Army Med Corps*, 2001; 147:28
21. Irwin R.J., Lerner M.R., Bealer J.F., Mantor P.C., Brackett D.J., Tuggle D.W.: Shock After Blast Wave Injury Is Caused by a Vagally Mediated Reflex. *The Journal of Trauma: Injury, Infection and Critical Care*, 1999; Vol. 47, No.1: 105-110.

22. Kanjoor J.R., Bang R.L.: Sand Blast Injury. *Injury, Int. J. Care Injured*, 2001; 32: 249-251.
23. Kaplan V., Gireth J.: A robbanás személyi állományra gyakorolt hatásai értékmegállapításának időszerű kérdései – ford. Szabó S. *Műszaki Katonai Közlöny*, 2000/1; pp.15-20.
24. Lavonas E.: Blast Injuries. *eMedicine Journal*, 2001; Vol 2. No. 10.
25. Lein B., Holcomb J., Brill S.: Removal of unexploded ordnance from patients: a 50-year military experience and current recommendations. *Mil. Med.* 164:163, 1999.
26. Lounsbury D.E. (editor): *Emergency War Surgery, Third United States Revision*, 2004, 1.1-1.15
27. Lukács L.: A Föld akna-problémája és a megoldás lehetőségei, különös tekintettel a Magyar Honvédség közreműködésének javasolható irányaira. *Műszaki Katonai Közlöny*, 1998/1; pp.3-19.
28. Lukács L.: A kumulatív töltetek kialakulása, hatásmechanizmusuk elmélete. *Műszaki Katonai Közlöny*, 1996/3.
29. Lukács L.: A robbanóanyag fogalma, a robbanóanyagok felosztása a Magyar Honvédségben. *Műszaki Katonai Közlöny*, 2008/1-4. összevont szám; pp.27-40.
30. Lukács L.: A robbanóanyagok kialakulásának rövid története. *Műszaki Katonai Közlöny*, 2008/1-4. összevont szám; pp.17-25.
31. Mayorga M.A.: The Pathology of Primary Blast Overpressure Injury. *Toxicology*. 1997; 121: 17-28.
32. Ohnishi M., Kirkman E., Guy R.J., Watkins P.E.: Reflex Nature of the Cardiorespiratory Response to Primary Thoracic Blast Injury in the Anaesthetised Rat. *Exp. Physiol.* 2001; 86.3: 357-364.
33. Owen-Smith M.: Bomb Blast Injuries: In an Explosive Situation. *Nurs. Mirror*, 1979; 149:35.
34. PHTLS Prehospital Trauma Life Support: Military Version. Mosby, 2006; Chapter 24.
35. Slater M.S., Trunkey D.D.: Terrorism in America. *Arch. Surg.* 1997; 132: 1059-1066.
36. Sorkine P., Szold O., Kluger Y., Halpern P., Weinbroum A.A., Fleishon R., Silbiger A., Rudick V.: Permissive Hypercapnia Ventilation in Patients with Severe Pulmonary Blast Injury. *The Journal of Trauma: Injury, Infection and Critical Care*. 1998; Vol. 45. No. 1: 35-38.
37. Suneson A., Hansson H.A., Seeman T.: Peripheral high-energy missile hits cause pressure changes and damage to the nervous system: experimental studies on pigs. *J Trauma*. 1987 Jul; 27(7): 782-9 Brain Pressure Changes

38. Susánszki Z. ford.: A robbanás emberre gyakorolt hatásai I-III. Fordítás a Med-Eng Systems Inc. Anyagából. Műszaki Katonai Közlöny, 1993/4; pp.3-18, 1994/1; pp.19-28, 1994/2; pp.3-24.
39. Susánszki Z.: Zárt robbanóterek nyomásviszonyainak számítógépes meghatározása. 5. Nemzetközi Robbantástechnikai Kollokvium. Budapest, 1992. szeptember 8-11.
40. Timble K., Glasper J.: Anti-personnel mine injury: mechanism and medical management. JR Army Med Corps. 2001; 147:73
41. Yelverton J.T.: Pathology Scoring System for Blast Injuries. The Journal of Trauma: Injury Infection and Critical Care. 1996; Vol 40. No. 3: 111-115.
42. Várhelyi L.: A robbanásos sérülések sebészeti ellátásának kérdései. Honvédorvos, 2002; 3-4: 95-130.
43. Zsiros L., Hábel T., Iványi J., Besze T.: A robbanás okozta sérülések sajátosságai. Honvédorvos, 1997; 4: 262-275.
44. Zsiros L.: Sugársérüléssel kombinált kis kaliberű, nagy kezdősebességű lövedékek okozta lövési sérülések patofiziológiája állatkísérletben. PhD értekezés. Budapest, 2005.

10. Publikációs jegyzék

10.1. Publikációk

1. Töréskezelési módszerek konverziós lehetőségei adott gyógyítási kurzuson belül. dr. Szalontay-dr. Várhelyi. Fialat Traumatológusok Fóruma, Lillafüred, 1993.
2. Külső rögzítés lehetőségei az ortopédiában – arthrodiatasis. dr. Sárvári-dr. Várhelyi. Fialat Ortopéd Orvosok Fóruma, Kecskemét, 1994.
3. Metatarsus primus varus megoldása ív alakú basis-osteotomiával. dr. Sárvári-dr. Várhelyi. Fialat Ortopéd Orvosok Fóruma, Békéscsaba, 1995.
4. A kéz csöves csontjain előforduló enchondromák műtéti megoldásának lehetőségei. dr. Várhelyi-dr. Máté-dr. Szalontay. Kézsebészeti Kongresszus, Pécs, 1996.
5. Proximalis femur romtörés kezelése tumorprotézissel. dr. Várhelyi-dr. Máté-dr. Lukács. Fialat Traumatológusok Fóruma, Debrecen, 1997.
6. Variációs lehetőségek a csípőízületi endoprotetikában. dr. Várhelyi-dr. Sárvári. Fialat ortopéd Orvosok Fóruma, Tata, 1998.
7. A kéz csöves csontjain előforduló enchondromák műtéti megoldásának lehetőségei. dr. Várhelyi-dr. Máté-dr. Szalontay. Honvédorvos, XLIX. 1997/4.
8. Teljes értékű bőrpótlás károsodott keringésű alsó végtagon. Dr. Máté-dr. Várhelyi-dr. Cziffer. Honvédorvos, XLIX. 1997/4.

9. Osztályunk artroplasztikai tevékenysége, lehetséges utak az artroplasztikában. Dr. Sárvári-dr. Várhelyi-dr. Lukács. Honvédorvos, XLIX. 1997/4.
10. Az ön- és kölcsönös-, az első szaksegély és az az első orvosi segély formái, tartalma békében és háborúban. Dr. Várhelyi. MH Főszakorvosi Összevonas, Balatonkenese, 1999.
11. A sebészi kezelés lehetőségei tumoros csontfolyamatok okozta patológiás törések kezelésében. Dr. Várhelyi-dr. Kiss-dr. Széphidi. Fiatal Ortopéd Orvosok Fóruma, Eger, 2000.
12. Changing Principles of Compromised Medicine, It's Influence on Field Traumatology in the Hungarian Defence Forces. dr. Várhelyi-dr. Zsiros. 8th American-Hungarian Military Medical Conference, Passau, Germany, 2000.
13. Tömeges balesetek ellátása. dr. Várhelyi-dr. Zsiros-dr. Hábel. Magyar Katasztrófaorvostani Társaság Kongresszusa, Budapest, 2000.
14. A New Approach For Casting Fingers, Hands And Arms Within Seconds. Dr. Várhelyi-dr. Zsiros-dr. Cziffer+-dr. Fűrész-dr.Svéd. 12th World Congress On Disaster And Emergency Medicine, Lyon, France, 2001.
15. **Meggondolatlanág következményei katonai robbantási gyakorlaton: robbanásos sérülések ellátása.** Dr. Várhelyi-dr. Zsiros. Nemzetközi Robbantástechnikai Kollokvium, Budapest, 2001.
16. **Consequences of Thoughtlessness at a Military Explosion Exercise. Medical Care of Blast Injuries.** L. Várhelyi – L. Zsiros. Published lecture on the International Symposium Parari, Australia, 2001
17. Leadership Course In Regional Disaster Response And Trauma System Management. Oktatói előadások, Hradec Kralové, Csehország, 2001. március és Budapest, 2002. május.
18. **Robbanásos kézsérülések ellátási taktikája.** Dr. Várhelyi-dr. Hábel-dr. Szalontay-dr. Gáspár. Magyar Kézsebész Társaság IX. Kongresszusa, Debrecen, 2002.
19. A primer ellátás szerepe a súlyos kézsérüléseknél. Dr. Szalontay-dr. Várhelyi-dr. Gáspár- dr. Tószegi. Magyar Kézsebész Társaság IX. Kongresszusa, Debrecen, 2002.
20. **Limb Impairments Of Blast Injury.** Dr. Várhelyi. 10th American-Hungarian Military Medical Conference, Grassau, Germany, 2002.
21. **Robbanásos sérülések ellátásának kérdései.** Dr. Várhelyi. MH Központi Honvédkórház Tudományos Kongresszusa, Balatonkenese, 2002.
22. **Robbanásos sérülések sebészeti ellátásának kérdései.** Dr. Várhelyi. Honvédorvos, LIV. 2002/3-4.
23. **Some Recent Methods Of Field Orthopaedic Surgery In Emergency Utilizable At Level 1 And 2 In The HDF.** Dr. Várhelyi. 11th American-Hungarian Military Medical Conference, Budapest, Hungary, 2003.
24. Preventív oszteoszintézisek csontmetasztázisok „fenyegető” töréseinél. Dr. Sárvári-dr. Király-dr. Várhelyi-dr. Fekete-dr. Gáspár. Magyar Ortopédiai Társaság kongresszusa, Galyatető, 2005.06.9-11. Poszter.
25. Minimálinvazív hátsó feltárásból beültetett csípőprotézisekkel szerzett tapasztalataink. Dr. Sárvári-dr. Király-dr. Várhelyi-dr. Fekete-dr. Csábi. Magyar Ortopédiai Társaság Kongresszusa, Galyatető, 2005.06.9-11. Poszter.
26. Changes of Principles of Orthopaedic Surgery. Dr. Várhelyi. 14th American-Hungarian Military Medical Conference, Budapest, Hungary 2006.
27. Preventive Osteosynthesis in Case of Multiple Bone Metastases. Dr. Várhelyi-dr. Gáspár-dr. Király-dr. Zsiros. CEOC Congress, Graz, Austria, 2007.

28. Challenges to Military Medical Services of Missions in Civilian Care. Maj. Levente Várhelyi, M.D. – Maj. Gábor Gion, M.D. 15th American-Hungarian Military Medical Conference, Regensburg, Germany, 2007.
29. Preventív oszteoszintézis multiplex csontmetesztázisok esetén. Dr. Várhelyi-dr. Sárvári-dr.Zsiros. A Magyar Traumatológus Társaság és a Magyar Ortopéd Társaság Közös Kongresszusa, Nyíregyháza, 2007.
30. **Impairments of Blast Injuries.** L. Várhelyi, S. Pellek, T. Szalontay, Z. Király, L. Zsiros. 9th European Congress of Trauma and Emergency Surgery. First ESTES-Congress, Budapest, Hungary, 24-27 May 2008.
31. New Challenges in Polytrauma Combination with Thorax Trauma Management – The Role of Damage Control Surgery. S. Pellek, J Görög, S. Saortay, L. Várhelyi, Z. Király. 9th European Congress of Trauma and Emergency Surgery. First ESTES-Congress, Budapest, Hungary, 24-27 May 2008.
32. Use of Spongious Bone Grafting Augmented with Thrombocyte Suspension in the Orthopaedic and Trauma Surgery. Z. Király, L. Várhelyi, S. Pellek, L. Zsiros. 9th European Congress of Trauma and Emergency Surgery. First ESTES-Congress, Budapest, Hungary, 24-27 May 2008.
33. Valgusz deformitás, mely primer protetizálásához a revíziós térdprotézis rendszert hívtuk segítségül. Molnár P. – Várhelyi L. Magyar Ortopéd Társaság 51. Kongresszusa és Fiatalok Fóruma, Székesfehérvár, 2008. június 19-21.
34. Hungarian State Health Center: Tasks and Responsibilities. L. Várhelyi, A. Grósz, I. Muzsay. 16th American-Hungarian Military Medical Conference, Budapest, Hungary, 14-18 September 2008.
35. **Acute Limb Compartement Syndrome.** L. Várhelyi, L. Zsiros. 16th American-Hungarian Military Medical Conference, Budapest, Hungary, 14-18 September 2008.
36. **Akut végtagi compartment-szindróma.** Várhelyi L. – Zsiros L. MH HEK – HM ÁEK Szakmai Konferencia, Balatonkenese, 2008. november 13-14.
37. **Robbanásos sérülések ellátása.** Várhelyi L. MKKT XI. Tudományos Konferencia, Budapest, 2008. november 20.
38. **Surgical Treatment of Blast Injuries: 3 Cases of Damage Control.** L. Várhelyi – S. Saortay. 17th American-Hungarian Military Medical Conference, Budapest, Hungary, 9-11 September 2009.
39. Studies on Combined Effects of Ionizing Radiation and Gunshot Wounds in a Pig Model : I. A Technical-Experimental Model and Dosimetry for Irradiation of Large Animals. L. Zsiros – L. Várhelyi – A. Gachályi – J. Fűrész – J. Köteles. Academic and Applied Research in Military Science, közlés alatt
40. Studies on Combined Effects of Ionizing Radiation and Gunshot Wounds in a Pig Model : II. Hemataological and Clinical Laboratory Investigations. L. Zsiros – L. Várhelyi – K. Schweitzer – J. Fűrész – J. Köteles. Academic and Applied Research in Military Science, közlés alatt
41. Studies on Combined Effects of Ionizing Radiation and Gunshot Wounds in a Pig Model : III. Release of the Cytokine TNF- α in Combined Injury. L. Zsiros – L. Várhelyi – G. Veszely – J. Köteles. Academic and Applied Research in Military Science, közlés alatt
42. **Role 2 baleseti ellátás.** Várhelyi L. HM ÁEK – MH HEK Csapatorvosi Főszakorvosi Összevonás, Balatonkenese, 2009. október 29-30.

43. **Report Int. Prof. ET 2007/06.** M. Viccaro – L. Várhelyi. Etnalogos.net – Volcanology Research Group at the University of Catania. http://etnalogos.net/Report/ET2008_06.pdf

10.2 Könyvfejezetek

Végtagsérülések ellátása katasztrófa és háborús körülmények között. Várhelyi L. Egyetemi jegyzet. Semmelweis Kiadó, megjelenés alatt

11. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom mindazoknak, akik segítségükkel, észrevételeikkel és tanácsaikkal segítettek e disszertáció létrejöttét.

Köszönet illeti néhai Prof. Dr. Farkas József DSc orvos vezérőrnagyot, a MH Központi Honvédkórház Baleseti Sebészeti Osztályának vezetőjét, témavezetőmet, aki lehetővé tette a sérültelátásba való bekapcsolódást, a szakma alapjainak elsajátítását és tapasztalatával segítette a disszertáció elkészülését.

Köszönet néhai Dr. Cziffer Endre DSc orvos ezredesnek, aki a fenti osztály vezetőjeként megismertette a tudományos kutatómunka alapjait.

Külön köszönettel tartozom Dr. Zsiros Lajos PhD orvos ezredesnek, a HM Állami Egészségügyi Központ Általános Traumatológiai Osztály vezetőjének, aki kezdettől fogva segített a szakma műtétes részének elsajátításában, tapasztalatainak átadásával támogatta katonaoorvosi pályámat és számos útmutatást adott a disszertáció elkészítéséhez.

Köszönet illeti Dr. Pellek Sándor orvos alezredest, aki műveleti területen szerzett tapasztalait osztotta meg és ott készült képanyagát rendelkezésemre bocsájtotta.

Köszönöm Balázs Istvánné segítségét, melyet a dolgozat előkészítésével valamint a műhely- és a nyilvános vita lebonyolításával kapcsolatban nyújtott.