

# KWETSBAARHEID VAN PERSONEEL VOOR VERSCHERVENDE MUNITIE 200016421

## BEPALING VAN DE MEDISCHE EN MILITAIRE CONSEQUENTIES DOOR MIDDEL VAN COMPUTERSIMULATIE

### Inleiding

De militair wordt voorbereid om onder moeilijke omstandigheden te kunnen worden ingezet. Vaak bestaan er bij militair optreden tal van risico's voor de gezondheid, waarvan een "hoog loodgehalte" in de omgeving deel kan uitmaken. Met een goede uitrusting en training wordt getracht de overlevingskansen van de militair zo groot mogelijk te maken. Helaas kan zelfs de beste uitrusting en training niet verhinderen dat militairen getroffen worden door projectielen en kwetsbaar zijn voor de inwerking van scherven en kogels. De militaire gezondheidszorg is er op gericht om de negatieve gevolgen voor de gezondheid van de militair zo veel mogelijk te beperken of teniet te doen<sup>1</sup>. Door de veranderde operationele taakstelling, maar ook gezien het veranderde politieke en sociale draagvlak<sup>2</sup>, is inzicht in de aard en ernst van de mogelijke verwondingen van de individuele soldaat in toenemende mate belangrijk geworden. Een hernieuwde aanpak van de wijze waarop berekeningen worden gemaakt voor zowel de omvang als de ernst van de verliesverwachting bij voorgenomen militair optreden is noodzakelijk.

De laatste jaren is veel energie gestoken in de herinrichting van de geneeskundige ondersteuning van het militair optreden. Om deze ondersteuning zo effectief en zo doelmatig mogelijk in te richten zijn betrouwbare berekeningen van de verliesverwachtingen noodzakelijk. Eind jaren negentig is overleg gevoerd tussen het Hoofd Cluster Personeelsbeleid Landmachtstaf/Beleidsondersteuning en vertegenwoordigers van TNO - Prins Maurits Laboratorium (TNO-PML) om na te gaan op welke wijze TNO-PML de krijgsmacht hierbij zou kunnen ondersteunen. Dit overleg heeft de aanzet gegeven tot een onderzoeksproject dat inzicht moet bieden in de personele kwetsbaarheid en verliesverwachtingen ten gevolge van inzet van een aantal vormen van explosieven en munitie. In dit artikel wordt stil gestaan bij de mogelijkheden van het TNO-PML om met

---

door Ir. Th.L.A. Verhagen<sup>a</sup>,  
luitenant-kolonel-arts  
J.H. van den Ham<sup>b</sup>, en  
kolonel-arts  
Dr. H.A. Hoogendoorn<sup>c</sup>

---

behulp van computersimulaties de uitwerking van verschillende soorten verschervende munitie en de ernst van de verwonding op personeel te analyseren en uit te drukken in medische grootheden zoals de "Abbreviated Injury Score" (AIS) en de "Injury Severity Score" (ISS)<sup>3</sup>. Daarmee kunnen de resultaten worden gebruikt voor een beter onderbouwde voorbereiding en planning van de geneeskundige middelen aan de hand van de verliesverwachting.

### Van "bemande wapensystemen" naar de "bewapende mens"

TNO-PML heeft door de jaren heen voor de Nederlandse krijgsmacht expertise opgebouwd en toegepast op onder meer het gebied van de uitwerking van munitie op doelen, zoals vliegtuigen, schepen en pantservoertuigen. Voor de krijgsmacht levert dit waardevolle informatie op bij de verwerving van materieel, omdat de kwetsbaarheid van het materieel voor munitie als criterium wordt meegenomen bij de materieelkeuze. Anderzijds ondersteunt het de krijgsmacht bij het verwerven van middelen die ingezet worden tegen de mogelijke tegenstander, waarbij dan natuurlijk gekeken wordt naar de effectiviteit van de eigen munitie tegen vijandelijk materieel. De uitwerking van munitie op personeel kan op dezelfde wijze bestudeerd worden. De nadruk van de onderzoeken die bij TNO-PML op dat gebied in het verleden zijn uitgevoerd, lag op het gebied van de uitwerking van munitie zoals artilleriegranaten, mortiergranaten en handgranaten op de soldaat in een militaire context. Dat wil zeggen de uitschakeling van de gevechtskracht van de soldaat (incapacitatie). Deze studies worden met name uitgevoerd voor de artillerie in het kader van haar rol van

personeelsbestrijding. Daarnaast kan deze expertise ook worden toegepast ter ondersteuning van het LBBKL / KPU-bedrijf bij de verwerving van beschermende persoonlijke middelen. Met name als gevolg van de maatschappelijke ontwikkelingen worden personele verliezen bij een militaire operatie door de Nederlandse samenleving steeds minder geaccepteerd. Tevens is er een accentverschuiving opgetreden in de wijze waarop men naar de mens in relatie tot het wapensysteem kijkt. In de tijd van de koude oorlog stond vooral het voortbestaan van het wapensysteem centraal. Personeel was vervangbaar, er was in de planning rekening gehouden met verliezen en deze verliezen werden bij een grootschalig conflict als onvermijdelijk beschouwd. In die tijd was er dus sprake van een "bemand wapensysteem". Tegenwoordig is het aantal beschikbare militairen beperkter. Wapensystemen worden technisch steeds hoogwaardiger, vergen steeds hoogwaardiger personeel voor de bediening en kunnen door steeds minder mensen bediend worden. Een gevolg is, dat de mens steeds meer centraal komt te staan en een onvervangbare schakel binnen het systeem is geworden. Daardoor is tegenwoordig het accent meer komen te liggen op de "bewapende mens". Het ligt dus voor de hand om de aandacht te versterken voor onderzoeken die de bescherming van personeel tot doel hebben.

### Een model voor een computersimulatie

Het volledig zelf ontwikkelen van een model om de uitwerking van verschervende munitie op personeel te simuleren is geen sinecure en kost veel tijd, vandaar dat gekeken werd naar internationaal beschikbare modellen. Het gebruik van een internationaal

<sup>a</sup> TNO-Prins Maurits Laboratorium, Postbus 45, 2280 AA, Rijswijk.

<sup>b</sup> Afdeling Gezondheidszorg Beleid en Planning, DP&O KL, Frederikkazerne, Den Haag.

<sup>c</sup> Centraal Militair Hospitaal, Utrecht. Artikel ontvangen november 2002.

geaccepteerd model heeft als bijkomend voordeel dat onderzoeksresultaten en ervaringen kunnen worden vergeleken. Uit de resultaten van NATO werkgroepen in de jaren negentig was duidelijk geworden dat er op dat moment internationaal twee toonaangevende computersimulatiemodellen bestonden, een Frans en een Amerikaans model. Deze computermodellen zijn onder andere gebaseerd op laboratoriumexperimenten met materialen waarmee menselijk weefsel wordt nagebootst, zoals gelatine. De gegevens die met deze modellen werden verkregen, werden aangevuld met informatie die beschikbaar was van menselijke slachtoffers. Van het Amerikaanse model is bekend dat medische ervaring, opgedaan tijdens Amerikaans optreden in de jaren vijftig en zestig (Korea en Viëtnam), in het model is verwerkt. Alhoewel het Amerikaanse en het Franse model onafhankelijk van elkaar zijn ontwikkeld, bleek uit de NATO studie dat computersimulaties vergelijkbare resultaten geven.

Gelet op de bestaande contacten is besloten binnen een bestaande Nederlands - Amerikaanse overeenkomst voor de uitwisseling van gegevens, een "Data Exchange Agreement", het Amerikaanse programma "ComputerMan" te verwerven. Dit pakket kwam uiteindelijk medio 2000 ter beschikking van het TNO-PML.

### **ComputerMan**

Met het US computerprogramma ComputerMan is het mogelijk de uitwerking van granaatscherven op personeel te analyseren en deze te vertalen naar medisch bekende grootheden, de "Abbreviated Injury Scores" (AIS) en "Injury Severity Scores" (ISS).

De anatomische beschrijving van de mens in het model is gebaseerd op de medische atlas van Eycleshymer en Shoemaker (1911), waarbij de persoon is opgedeeld in 167 horizontale plakjes. Elk horizontale plak is opgedeeld in 5 x 5 mm cellen. Uiteindelijk wordt daarmee door 124.000 cellen de anatomie van de mens beschreven. Ruim 290 verschillende weefseltypen zijn in het model ingebracht, waardoor een behoorlijke mate van detaillering is verkregen.

Het treffen van de persoon door een scherf en vervolgens het in het lichaam binnendringen van de scherf (penetratieproces) is in het model vrij gedetailleerd uitgewerkt, waarbij rekening

wordt gehouden met de afremming van de scherf door het weefsel.

De interpretatie van de fysieke schade aan de weefsels wordt vanuit de medische optiek in twee stappen uitgevoerd. Allereerst wordt de schade aan elk afzonderlijke weefsel onafhankelijk van het totaalbeeld geïnterpreteerd. Hierbij wordt "impliciete" medische voorkennis toegepast. Indien bijvoorbeeld een scherf een bot treft, wordt de mogelijke versplintering van het bot en de daaruit volgende schade niet expliciet gesimuleerd, maar dit wordt wel in de evaluatie meegenomen.

Vervolgens wordt de samenhang van de verschillende weefsels mee in beschouwing genomen. Als blijkt dat "samenhangende" weefsels gelijktijdig beschadigd zijn, wordt de interpretatie van de schade aangepast. Dit speelt bijvoorbeeld als er sprake is van een haematothorax.

De in het computermodel ondergebrachte medische interpretatie is gebaseerd op de kennis en ervaring van een groot aantal medici die in de loop van de jaren betrokken zijn geweest bij Amerikaanse gevechtshandelingen en laboratorium-experimenten.

De medische interpretatie van de schade aan de weefsels wordt uitgedrukt in de AIS waarde, waarbij een schaalverdeling van AIS = 0 (None), AIS = 1 (Minor), AIS = 2 (Moderate), AIS = 3 (Serious), AIS = 4 (Severe), AIS = 5 (Critical) en AIS = 6 (Unsurvivable) wordt gehanteerd (zie ook figuur 1). Alhoewel de AIS oorspronkelijk ontwikkeld is voor slachtoffers van auto-ongelukken, is de methodiek in 1985 uitgebreid met scherfletsels. De meest recente versie is de AIS-96.

De AIS-waarden van de afzonderlijke weefsels worden gecombineerd voor negen lichaamsregio's, te weten, de huid, het hoofd, het gezicht, de nek, de thorax, het abdomen en het bekken, de wervelkolom en de extremiteiten. Een totaalinzicht in de ernst van de verwonding krijgt men met de ISS-waarde, waarbij de AIS-waarden voor de lichaamsregio's zijn gecombineerd volgens bepaalde regels. De ISS-waarde varieert tussen 0 en 75, waarbij een oplopende waarde een toenemende ernst aangeeft en de waarde 75 overeenkomt met "Unsurvivable". In deze studie is voor de begripsvorming besloten voor de ISS "overeenkomstige" AIS-omschrijvingen te hanteren: None: ISS = 0, Minor: ISS < 4, Moderate: ISS < 9, Serious: ISS < 16,

Severe: ISS < 25, Critical: ISS < 36, More Critical: ISS < 75, Unsurvivable: ISS = 75.

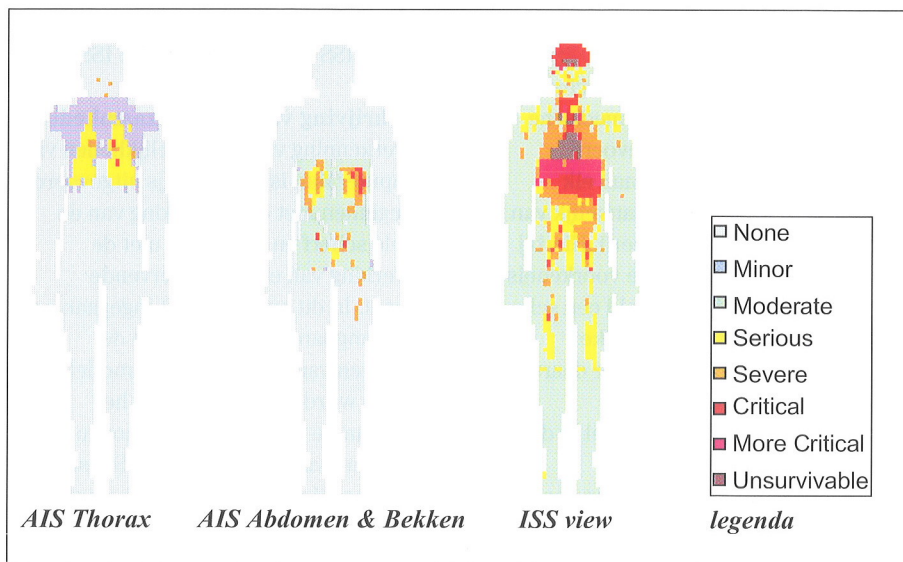
### **Beschrijving van de werkzaamheden**

De verkenning van de mogelijkheden van ComputerMan is stapsgewijs uitgevoerd, te beginnen met de uitwerking van de enkele scherf en eindigend met de uitwerking van een verschervende granaat. In dit artikel wordt ingegaan op twee gangbare vormen waarin de resultaten van het onderzoeksmodel kunnen worden weergegeven, het zogenaamde "aanzicht" en de zogenaamde "footprint" van zowel AIS als ISS resultaten. In het "aanzicht" wordt het effect van een enkele scherf gevisualiseerd. Doel van deze wijze van visualiseren is de "kwetsbare en minder kwetsbare" gebieden aan het menselijk lichaam te achterhalen. In figuur 1 zijn voorbeelden van dergelijke aanzichten getoond.

In het model wordt het lichaamsoppervlak verdeeld in een ruitjespatroon met een bepaalde afmeting. Op elk ruitje wordt de persoon getroffen door een scherf. Alle scherven hebben dezelfde massa, vorm, materiaal, snelheid en inslagrichting. De effecten van elke scherf worden afzonderlijk bepaald en aangegeven met een kleurcodering. Aangezien de verschillende lichaamsgebieden elkaar kunnen overlappen, wordt de visualisatie per lichaamsdeel getoond. In figuur 1 is de romp verdeeld in de gebieden Thorax, Abdomen en Bekken.

Op deze wijze worden de verschillen in de effecten per lichaamsgebied duidelijk. Bij de Thorax veroorzaakt een scherf voor het grootste deel schade op het niveau "Serious" (AIS = 3) en incidenteel "Critical" (AIS = 5). Bij Abdomen en Bekken blijkt deze scherf vooral schade op het niveau "Severe" en "Critical" (AIS = 4 en 5) op te leveren. De afzonderlijke AIS visualisaties kunnen worden gecombineerd tot een overkoepelend ISS aanzicht, waarmee in één blik duidelijk wordt wat het effect is van een scherf op de diverse plaatsen op het lichaam van een onbeschermd persoon. Uit het ISS aanzicht blijkt de diversiteit in uitwerking van vergelijkbare scherven op verschillende treflocaties. De ISS loopt in de gebieden waar Thorax, Abdomen en Bekken elkaar overlappen zelfs op tot boven "Critical" en in een enkel geval tot "Unsurvivable".

Duidelijk zal zijn dat voor medici deze wijze van aanschouwelijk maken van de kwetsbaarheid van de diverse gebieden



Figuur 1: Frontale aanzichten.

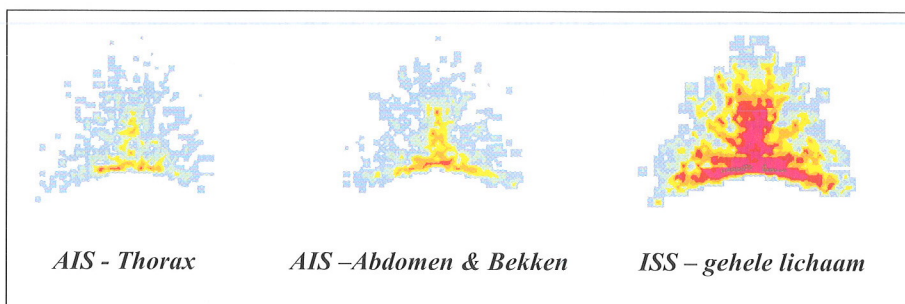
van het menselijk lichaam bruikbare informatie kan opleveren. Het model kan nog worden uitgebreid door de effecten te bekijken op de kwetsbaarheid van de verschillende lichaamsdelen, door uit te gaan van hogere scherfsnelheden en / of scherfmassa's. Het voert echter in het kader van dit artikel te ver om hier verder op in te gaan.

In een zogenaamde "footprint" wordt het uitwerkingsgebied van een detonerende granaat en het effect daarvan op personeel weergegeven, figuur 2 laat daarvan voorbeelden zien. Bij deze simulatie is uitgegaan van een staande, onbeschermd persoon met het gezicht naar het zuiden gericht (6 uur). Er wordt voor de berekening verondersteld, dat op elk punt op het grondvlak een granaat detoneert waardoor scherven het lichaam raken onder een bepaalde impacthoek en met een bepaalde impactsnelheid. De gecombineerde effecten van alle individuele scherven op de totale persoon kunnen wederom worden uitgedrukt in de betreffende AIS-waarde voor een specifiek weefsel, de AIS-waarde voor een specifiek lichaamsdeel of de ISS voor het hele lichaam. In dit geval is de AIS-waarde voor de Thorax, het Abdomen en het Bekken opgenomen. Vergelijken we de footprint voor de Thorax met die van het Abdomen en het Bekken, dan valt op dat de granaat een grotere uitwerking heeft op de lichaamsregio's in het Abdomen en het Bekken dan op de Thorax. Dit is niet alleen toe te schrijven aan een hogere kwetsbaarheid van deze gebieden, maar is ook een gevolg van het gekozen grondspringpunt van de granaat: de

meeste scherven blijken vooral in het onderlichaam terecht te komen. De vorm van de footprint hangt overigens ook nauw samen met de spreiding van de schervenwolk van de granaat. Kijken we naar de ISS footprint dan blijkt dat detonatie van deze granaat in de nabijheid van de persoon op veel lichaamsgebieden een meer dan "critical" uitwerking heeft. Aan de hand van AIS footprints kan achterhaald worden op welke lichaamsgebieden de granaat een ernstige uitwerking heeft. Daarmee kan een indicatie worden gegeven van met welke type en ernst van verwondingen rekening moet worden gehouden. De ISS footprint geeft daarnaast de mogelijkheid op een onderbouwde wijze een algemene indicatie van de ernst van verliesverwachtingen te geven. Uiteraard zijn deze footprints afhankelijk van het type granaat en eindcondities zoals detonatiehoogte en eindsnelheid van de scherven, maar ook van de houding en mate van bescherming van de persoon.

#### Toepasbaarheid

ComputerMan maakt dus een



Figuur 2: "Footprint" (voor legenda zie figuur 1).

gedetailleerde analyse van de uitwerking van scherven op personeel mogelijk. Het effect van de scherfuitwerking kan worden geïnterpreteerd vanuit medisch en militair oogpunt. Hierbij moet niet alleen worden gedacht aan verschervende munitie, zoals afkomstig van artillerie, mortieren en handgranaten, maar ook scherven die zijn ontstaan door impact op pantser ("spall").

ComputerMan kan worden gebruikt ter operationele ondersteuning van:

- het vaststellen van ernst en aard van de mogelijke scherfverwonding, verliesverwachting, specialistische medische inzet en medische logistiek, en
- het vaststellen van de militaire inzetbaarheid binnen de context van gevechtssimulaties.

Maar ook ter ondersteuning van materieel verwervingstrajecten, zoals bij:

- het LBBKL / KPU - bedrijf bij het verwervingsproces van persoonsgebonden beschermingsmiddelen, waarbij de nadruk ligt op de militaire en medische consequenties en overlevingsvermogen, en
- het LBBKL / Munitiebedrijf bij het verwervingsproces van anti-personeel munitie.

#### Hoe verder

Terugkijkend naar de uitzendingen van militairen gedurende de laatste jaren en rekening houdend met de verwachte toekomstige inzet van Nederlandse militairen is te verwachten dat een belangrijke dreiging voor de militair gevormd wordt door scherven en kogels. Het is een illusie te veronderstellen dat met (persoonlijke) beschermende middelen de soldaat hier volledig tegen kan worden beschermd. Ook bij de huidige en verwachte inzetmogelijkheden van Nederlands defensiepersoneel moet rekening worden gehouden met slachtoffers ten gevolge van scherven en

met name kogels, al dan niet afgevuurd door "snipers", (ir)reguliere troepen en bewapende burgerbevolking. Inzicht in de uitwerking van deze middelen tegen de onbeschermden en de beschermden persoon is essentieel.

Computersimulaties bieden de gebruiker de mogelijkheid realistische situaties te simuleren onder verschillende operationele condities en met verschillende beschermingsgraden. De resultaten hiervan maken het voor de betrokken functionarissen mogelijk om de veelal complexe onderwerpen zodanig te benaderen dat gepland kan worden op bepaalde verliesverwachtingen. Uiteraard is het hier geschetste model slechts een deelaspect van het totaal aan onderzoeken die de krijgsmacht moeten ondersteunen bij de operationele taakstelling. Wetenschappelijke ondersteuning beperkt zich niet tot dit enkele deelaspect. Zoals bekend, kan TNO terugkijken op een ondersteuning van de krijgsmacht door de jaren heen. In relatie tot het voorheen geschetste simulatiemodel voor de kwetsbaarheid van personeel kan gewezen worden op de synergie tussen

experimenteel ballistisch onderzoek onder laboratorium omstandigheden, de uitwerking van scherven op personeel en de mogelijkheden van hogere orde gevechtssimulaties waarin uiteindelijk de invloed van technologie, training en doctrine kan worden verwerkt. TNO-PML richt zich op het verder uitbouwen van de mogelijkheden om de krijgsmacht, met name ook de medische diensten en het LBBKL / KPU bedrijf, hierbij te ondersteunen. Het in dit artikel beschreven model is een voorbeeld voor de wijze waarop bij TNO kennis wordt ontwikkeld die de basis kan vormen voor de besluitvorming die binnen een moderne krijgsmacht plaatsvindt.

#### Summary

#### VULNERABILITY OF MILITARY PERSONNEL FOR FRAGMENTARY AMMUNITION

Due to the changing world theatre, the importance of the (dis)mounted soldier has changed drastically over recent years. The awareness of threats involved during present days military support as well as an increasing social "zero casualty" tolerance

attitude, it is evident that the need for evaluation of the effects of threats encountered by the soldier increases during the operation preparation. In this article we describe the results of a recent study to evaluate the opportunities offered by the computer simulation program "ComputerMan". This program enables the evaluation of the seriousness of injuries due to fragment impact, necessary to estimate casualty rates as well as the need for typical medical expertise and medical support.

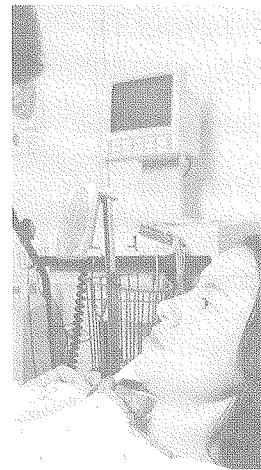
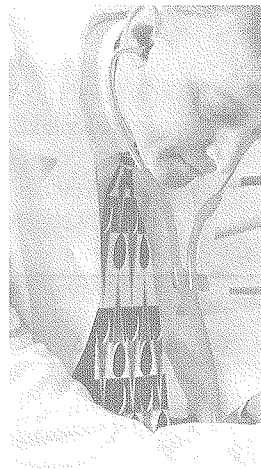
#### Literatuur:

1. Grondslagen, Hoofdlijnen en Systemen voor de Militaire Gezondheidszorg. Aanwijzing Secretaris Generaal van Defensie SG V/19 van 16 juli 2002.
2. **Larson Eric V.**: Casualties and Consensus: The historical role of casualties in domestic support for US military operations (1996), <http://www.rand.org/publications/MR/MR726>.
3. <http://www.trauma.org/scores>.
4. **Verhagen Th.L.A., Huisjes H., Hoogendoorn H.A.**: Human vulnerability and Medical Consequences - Penetrating Fragment Injury TNO-PML Rapport PML2001-A41.
5. **Verhagen Th.L.A., Huisjes H.**: "Survivability is not a mission, it is a responsibility!". Military and medical consequences for the dismounted soldier. 1<sup>st</sup> European Survivability Workshop 26-28 February 2002, Köln-Wahn, Germany.



# KP Medical

Dè leverancier voor uw totaalpakket van medische apparatuur, disposables en service



adres

Rumpsterweg 16A  
3981 AK Bunnik

telefoon

030 - 243 91 14

fax

030 - 666 80 73

e-mail

[sales@kpmedical.nl](mailto:sales@kpmedical.nl)

website

[www.kpmedical.nl](http://www.kpmedical.nl)