

Ulf Danielsson

## Buren utrustnings, särskilt kroppsskyddets, effekt på soldatens belastning och prestation.

En litteraturstudie



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

NBC-skydd  
901 82 Umeå

FOI-R--0563--SE

Oktober 2002

ISSN 1650-1942

**Användarrapport**

Ulf Danielsson

Buren utrustnings, särskilt kroppsskyddets, effekt på  
soldatens belastning och prestation. En litteraturstudie

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI NBC-skydd 901 82 Umeå	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0563--SE	<b>Klassificering</b> Användarrapport
	<b>Forskningsområde</b> 8. Människan i totalförsvaret	
	<b>Månad, år</b> Oktober 2002	<b>Projektnummer</b> EF673
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 81 MSI med fysiologi	
<b>Författare/redaktör</b> Ulf Danielsson	<b>Projektledare</b> Ulf Danielsson	
	<b>Godkänd av</b>	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FMV	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>	
<b>Rapportens titel</b> Buren utrustnings, särskilt kroppsskyddets, effekt på soldatens belastning och prestation. En litteraturstudie		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> En litteraturgenomgång har gjorts med inriktning på kroppsskyddets effekt på fysisk och mental belastning och prestation samt förväntat skadeutfall hos soldaten. Bäst vore ett kroppsskydd som täcker hela kroppen, som motstår höghastighetsprojektiler, men som samtidigt har liten massa och som medger hög rörlighet med minimal inverkan på kroppens värmebalans. Ett sådant kroppsskydd är f.n. orealiserbart. En viktig fråga är hur ett kroppsskydd ska utformas för att ge tillräcklig hög bäraracceptans. I litteraturen karakteriseras ett ballistiskt kroppsskydd enligt: Det a) minskar risken för skada vid träff, b) gör att ev. skada vid träff kan bli lindrigare c) har ibland låg bäraracceptans d) som går "omlott" är mer hindrande, e) är fysiskt, och ibland mentalt, belastande, f) med förstärkningsplattor är mer belastande, g) kan försämra lungventilationen h) ökar ofta värmeproduktionen, i) ökar ofta värmebelastningen j) ökar ofta vätskebehovet, k) med "ventilationsmöjlighet" ger inte ökad komfort, l) försämrar höftbältets förmåga att avlasta axlarna, m) försämrar rörligheten och därmed det "aktiva skyddet", n) kan försämrar stridsförmågan. Rörlighet och fysisk uthållighet (aktivt skydd) påverkas negativt av kroppsskyddet (passivt skydd) vilket innebär att exponeringstiden för fientlig bekämpning ökar. Generellt förstärks nackdelarna ju bättre kroppsskyddet blir. Ett mål är att finna den optimala kombinationen av aktivt och passivt skydd. Sannolikt kommer det att se olika ut beroende på vapenhot och miljö. En viktig del i utvecklingsarbetet är därför att identifiera hur ett tillräckligt bra skydd ska utformas så att antalet och typen av förluster blir acceptabla för individen och försvarsmakten.		
<b>Nyckelord</b> kroppsskydd, vikt, volym, aktivitet, skada, förmåga, strid		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 25 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency NBC Defence SE-901 82 Umeå	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0563--SE	<b>Report type</b> User report
	<b>Research area code</b> 8. Human Systems	
	<b>Month year</b> October 2002	<b>Project no.</b> EF673
	<b>Customers code</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Sub area code</b> 81 Human Factors and Physiology	
<b>Author/s (editor/s)</b> Ulf Danielsson	<b>Project manager</b> Ulf Danielsson	
	<b>Approved by</b>	
	<b>Sponsoring agency</b> FMV	
	<b>Scientifically and technically responsible</b>	
<b>Report title (In translation)</b> Effects of body armour on soldier's physical load and performance		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>This literature survey focuses on the effect of body armour on the soldier's physical and mental strain and performance as well as risk of injury. The ideal body armour covers the entire body surface, has a protection level sufficient to stop high velocity bullets, is light, flexible and disturbs not the human heat balance. Such a body armour is unrealistic, so far. An important issue is how to design a body armour giving both sufficient protection and wear acceptance. According to the literature a body armour is characterised as: It a) reduces the risk of injury at hit, b) if hit the injury might be less serious c) has sometimes low wear acceptance, d) is less flexible if parts are overlapping, e) results in physical and sometimes, mental loads, f) reinforced with (ceramic) plates increases the load g) may affect lung ventilation h) often increases metabolic heat production, i) often increases human heat load, j) often increases water consumption, k) "ventilation" does not improve thermal comfort, l) impairs performance of backpack hip belt, m) impairs movability, n) may impair the combat effectiveness. Body armour (passive protection) has negative effects on movability and physical endurance (active protection) increasing the exposure to enemy fire. Generally, the better body armour the worse impact on human performance. A goal is to find the optimum combination of active and passive protection. Probably, this will not be the same for different threats and environments. An important part of future development of body armour is to identify what design gives sufficient protection to reduce the number and type of injuries that is acceptable to the individual and the armed forces.</p>		
<b>Keywords</b> body armour, weight, volume, activity, trauma, performance, combat		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 25 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	



## INNEHÅLL

Bakgrund	6
Kroppsskyddets skadeprevention	7
Arbetsfysiologisk belastning	9
Kortvariga, intensiva aktiviteter	10
Långvariga, medeltunga aktiviteter	10
Biomekaniska modeller och bärteknikprototyper	13
Termofysiologisk belastning	14
Kortvariga, intensiva aktiviteter	15
Långvariga, medeltunga aktiviteter	15
Mental belastning	16
Sammanfattning	18
Litteratur	21

## BAKGRUND

Den personliga utrustningen tenderar till bli alltmer omfattande både i volym och vikt. Utvecklingen är inte ny men tycks vara accelererande. En orsak är hot-verkan spiralen. Allt tyngre vapen med en ammunition som ges allt högre penetrerande förmåga kräver mer kvalificerade skydd vilket i praktiken oftast innebär högre vikt och större volym på skyddet (van de Linde och Lotens, 1988, Knapik et. al, 1997, Townsend, S. J., 1994). Effekten av hög fysisk belastning på "militär" förmåga är svår att finna i t.ex. den vetenskapliga eller annan litteratur. Stressdata som härrör från "vetenskapliga" samhället är svåra att översätta till militära stridssituationer. Omvänt så är huvuddelen av stressrelaterade data från stridssituationer anekdotiska. De flesta data härrör från studier av långvariga och kontinuerliga fysiska belastningar. Dessa tyder på att reduktion i kognitiv förmåga, motorik och bärförmåga följer av sådan belastning (Warren och Dragsbaek, 1988). Mer specifika studier finns dock som kvantifierar bördans (kroppsskyddets) inverkan på den stridstekniska prestationen (van de Linde och Lotens, 1988).

Soldaten utsätts inte bara för traditionell vapenverkan i form av splitter och direktverkande eld. Soldaten måste också skydda sig mot annan vapenverkan, NBC, laser och på sikt även annan elektromagnetisk strålning. Andra faktorer som ökar utrustningens vikt är den modernisering som speciellt infanteristen genomgår, en modernisering som innebär att soldaten ges nya förmågor genom ny utrustning men utan att den befintliga bördan reduceras i vikt i samma utsträckning. Enligt US. Army Infantry school rekommenderas bördans vikt inte överstiga 33 kg (45% av kroppsvikten) vid uppmarsch medan i strid bör vikten inte överstiga 22 kg (30%). Det här är rekommendationer från tiden före senaste soldatmoderniseringen (av typen LandWarrior). Men inte ens då kunde man nå ner till dessa vikter (Knapik, 1989). Olika typer av beslutstöd har utvecklats för att hjälpa soldaten och befälen att bedöma behovet av utrustning. Syftet är att inte onödig utrustning bärs av soldaten, utrustning som bevisligen gör honom till ett lätt offer även innan striden påbörjats (Belenky et al. 1987).

I det korta perspektivet kommer moderniseringen att innebära mer och därmed tyngre utrustning inkluderande sensorer och annan teknik som har att göra med det digitaliserade slagfältets nya krav. Den framtida soldaten kommer att vara en av relativt få specialister med krav på kvalificerat uppträdande i många miljöer, såväl i "klassisk", småbruten terräng som i bebyggelse. De erfarenheter som gjorts internationellt med "future soldier" i strid eller stridsliknande situationer är att den burna vikten innebär ett stort problem. Problemet yttrar sig i dålig rörlighet och därmed ökad exponering för fientlig bekämpning. Andra problem är ökad skaderisk (belastning) samt försämrad fysisk uthållighet.

Den komponent i den personliga utrustningen som utgör en allt större del av burens massa är det ballistiska kroppsskyddet. Hoten kommer från olika typer av verkansdelar där splitter fortfarande står för 60 till 70% av förlusterna vid militära stridssituationer. Låghastighetsprojektiler är huvudsakligen ett hot vid polisiär verksamhet medan höghastighetsprojektiler svara för ca 20% av förlusterna i strider mellan militära förband (Gotts, 2001). Andra hot där kroppsskyddet kan ha en preventiv verkan är explosioner, eld eller het luft. Stick och skärskador är också vanliga vid polisiära aktioner, tillfällen där kroppsskyddet kan ha en god skyddande förmåga. Den viktigaste orsaken till att kroppsskyddet anses allt viktigare är att personskador och förluster i liv accepteras i allt mindre omfattning, framförallt gäller detta vid fredsbevarande och fredsframtvigande internationella operationer. Följden blir en uttrycklig önskan, ibland till och med ett absolut krav för deltagande, att det skydd som tillhandahålls ska vara det bästa som kan erhållas vilket påverkar utvecklingen mot allt motståndskraftigare och bättre kroppstäckande skydd.

Följdaktigen är tendensen den att det ursprungliga, mjuka skyddet, gjort av aramid eller liknande material, i alltfler situationer förstärks med hårda plattor av t.ex. keramer. Därmed ökar vikten från cirka 3 kg till 10 kg eller mer. En sådan viktökning upplevs emellertid som besvärande, både ur komfortsynvinkel och prestationshänseende.

En angelägen fråga att besvara inför den fortsatta utvecklingen av kroppsskydd för försvarsmakten är i vilken grad bördan, och då i första hand kroppsskyddet, påverkar soldatens funktion och prestation i skilda stridsmiljöer. En annan väsentlig fråga är vilken prestationsnedsättning som kan accepteras för att uppnå acceptabla skaderisker. Syftet med litteraturgenomgången är att belysa dessa frågor.

## **KROPPSSKYDDETS SKADEPREVENTION**

Ett antal studier är gjorda på kadaver för att utröna olika kroppsskydds egenskap i ballistiskt hänseende. Djurförsök är också utförda men i begränsad omfattning. Förutom dessa är olika typer av modeller utvecklade för beräkning av kroppsskydds preventiva effekt. Vanligtvis är finita element-tekniken använd. Lobo (2001) har beskrivet en modell över mänsklig torax skyddad av kroppsskydd. Syftet är att beräkna torax' biomekaniska svar på påskjutning. Modellen inkluderar skelett, hjärta, lungor, viktigaste artärer och vener, luftstrupe och bronkerna. Modellen har validerats med påskjutning av kadaver med kroppsskydd. Jolly och Kwon (2000) studerade det biomekaniska svaret i form av energitransport till övriga kroppsdelar då en projektil träffar torax, rakt över bröstbenet. Beräkningen visar hur energitransporten påverkas av musklerna, dess geometri, materialegenskaper, viskositet m.m. Inträngningsdjupet bakom skyddet är ett viktigt mått för att bedöma graden av skada vid påskjutning. Olika mättekniker är beskrivna för att kvantifiera detta. Liknande modellutveckling och simulering är beskriven av Hughes (1999). Moynihan et al. (2000) beskriver effekten av skilda kombinationer av projektiler och keramiska material på inträngningsdjupet. Modellbildning avseende belastning på huvud-nacke har också gjorts. King (1998) beskriver en modell som är validerad från data från bilindustrin (krocktester).

Datormodeller kan också användas för att bedöma vilken skyddande effekt en given utformning av skydd ger under skilda hot. Gotts (2001) konstaterar att de flesta ballistiska kroppsskydd bara skyddar huvud och bål av skälet att dessa delar anses som mest känsliga för träff och att bålen, med sin relativt sett stora area, har förhållandevis hög risk att träffas. Det faktiska behovet vore annars att kroppsskyddet täcker större delen av kroppen men ett sådant skulle, med dagens material, bli alltför tungt, varmt, omfångsrikt, rörelsebegränsande samt inte vara kompatibelt med övrig buren utrustning. Gotts (2001) har beräknat (CASPER) förlusterna som orsakas av en 81mm granat som detonerar på 2m höjd, 5 m framför 3 soldater som går på linje med 10 m lucka. Detonationen sker mellan soldaten i mitten och den vid sidan om honom. Soldaterna är skyddade med hjälm och kroppsskydd som ingår i brittiska försvaret. Kroppsskyddet ger för den soldat som går längst ifrån detonationspunkten 14% minskad risk för allvarlig inkapacitering medan skyddet för de närmsta soldaterna bara ger försumbart skydd (några procent mindre risk). Men om soldaterna skulle ha burit kroppsskydd med samma yttäckning men som helt kunde förhindra penetration av splitter minskar risken till 26% för den gynsammast placerade soldaten medan de andra två fortfarande bara har marginellt förbättrat skydd. Gotts (2001) har även beräknat hur skydds-nivån påverkas av den area som täcks av kroppsskydd, alltför enbart hjälm till helkroppstäckning. Den absolut bästa skyddsutvecklingen får soldaten längst ifrån detonationen där risken att skadas minskar från 3% med enbart hjälm till 30% med helkroppsskydd där skydds-nivån motsvarar dagens brittiska kroppsskydd mot splitter. Soldaterna närmast detonationen får en riskpåverkan som är mycket



dålig där helkroppsskydd bara ger en minskad risk för allvarlig inkapacitering som är mindre än 5%. Beräkningarna styrks av erfarenheter från bl.a. Koreakriget där antalet spitterskador inte var proportionellt mot ”skyddad” kroppsytta (Homes et al. 1954). Med kroppsskydd täckande bröstkorgen uppstod ändå ca 20% av skadorna på denna region medan utan kroppsskydd var motsvarande skadeandel 30%. Heltäckande skydd mot höghastighetsprojektiler är enligt Gotts (2001) inte realistiskt om det samtidigt ska vara bärbart eftersom vikten på en sådan dräkt skulle överskrida 115 kg. Däremot har prototyper på heltäckande kroppsskydd motsvarande dagens kroppsskydd i skyddsförmåga prövats på hinderbana med avseende på rörlighet. En sådan dräkt väger 20 kg inklusive förstärkningsplatta och hjälm och tillåter att två meter högt hinder kan passeras utan hjälp.

Erfarenheter från strider i olika miljöer kan ge information om värdet av kroppsskydd och var skyddet eventuellt bör förstärkas. I en jämförelse mellan skadeutfallet för amerikanska trupper i Somalia och Vietnam där den förra är en utpräglad urban stridsmiljö har värdefulla data erhållits (Mabry et al., 2000). Förlustfördelningen var liknande i de två stridsmiljöerna. På stridsfältet dog 11% medan 3% dog efter att nått sjukhus. Av samtliga förluster återvände 39% till tjänst medan 47% frikallades. Antalet skottsskador var högre i Somalia än i Vietnam (55% mot 30%) medan antalet splitterskador var färre (31% mot 48%). Skador från trubbigt våld orsakade 12% avskadorna medan 2% var brännskador. De dödligt penetrerande skadorna inklusive skador på huvud och ansikte var 36% i Somalia och 35% i Vietnam. Nackskador var 7% respektive 8%, bålen 14% respektive 39%, buken 14% respektive 7%, bröstkorgen 7% respektive 2%, underlivet (pelvis) 14% respektive 2% samt armar och ben 7% i båda stridsområdena. Av de kroppsskydd som hade förstärkningsplatta i kroppsskyddet, sådant som skyddar bröstets och övre delen av bukens framsida, penetrerades ingen förstärkningsplatta. De mest fatala penetrerande skadorna orsakades av projektiler som träffade de områden som inte skyddades av kroppsskyddet, exempelvis ansikte, nacke, bäckenet och underlivet. Sammantaget var de fatala skador på huvudet lika omfattande i Somalia som i Vietnam trots moderna aramidhjälm. Kroppsskydd reducerade antalet fatala penetrerande projektiler som gav bröstskador. Skador på det oskyddade ansiktet, underlivet, bäckenet orsakade ett avsevärt antal förluster i döda. Dessa data bör, enligt Mabry et al. (2000) kunna användas för förbättring av kroppsskyddet. Ett problem med att bedöma värdet av kroppsskydd är att det tycks påverka uppträdandet på stridsfältet. Jameson et al. (1975) fann att antal splitterskador var större hos dem som bar kroppsskydd (34%) än dem utan (28%). Orsaken förklarades vara att de med kroppsskydd tog större risker och därmed hamnade närmare detonationspunkten. En annan förklaring var att kroppsskyddet gjorde att soldatens rörlighet försämrades och därmed inte kunde söka aktivt skydd lika bra som den utan kroppsskydd.

En studie har gjorts av förlusterna i Libanon hos israeliska trupper (Gofrit et al. 1996). Av 505 penetrerande skador orsakades 290 av splitter medan 215 var från projektiler. Sammanlagt 164 soldater stupade av dessa skador. Cirka 90% av samtliga träffar återfanns på framsidan med en viss övervikt på den vänstra sidan (55%). Cirka 45% av alla träffar träffade bålen vilket är lite mer än motsvarande fraktion av kroppsytan (36%). Bålen träffades av 64% av splittret samt av 72% av kulorna. Huvudet träffades av 9% av alla träffar. Ansiktet var den kroppsdel som utsattes för flest penetrerande skador (22%). Resultaten antyder att förändringar i kroppsskyddet bör ske med ett förbättrat skydd över främre och mitre delen av bålen, ansiktet bör skyddas bättre med ett visir och ett hakskydd som skyddar nedre delen av ansiktet. Genom att förse hjälmen med en främre kant så skulle övre delen av ansiktet kunna skyddas bättre. En konsekvens av att de flesta träffar återfinnes på kroppens framsida togs av soldater ur USAs Delta Force förband (anti-terrorism) som under Somaliakonflikten huvudsakligen använde förstärkningsplattor bara på kroppens framsida medan ryggsidan oftast lämnades

utan i den mån som förstärkningsplattor överhuvudtaget nyttjades av dessa speciella soldater (Bowden, 2001).

En analys av de personsador som uppstod hos US Army under Desert Storm aktionen har utförts av Carey (1996). Av 143 som skadades av splitter eller kulor orskades 95% av splitter, resten av kulor. Många skadade hade träffar i flera kroppsdelar inklusive de 17% som hade skador på huvudet. 4% hade nackskador, 6% bröstskador, 9% skador i buken medan 90% hade skador på armar och/eller ben. Mortaliteten var 2%. Slutsatsen är att hjälmen tycks ge ett skydd mot splitter liksom kroppsskyddet. Skador på armar och ben kan vara fatala och bättre behandlingsmetoder efterlyses av Carey (1996)

Ett problem med kroppsskydd är att de tidvis anses vara okomfortabla och där bristen på komfort uppenbarligen inte uppväger förväntad ökning av säkerheten. Hooper (1999) har studerat detta avvägande hos polisen i England och Wales. Bristen på komfort och begränsad rörelseförmåga är något som framförallt de individer som har stort omfång klagar på. Dessa nackdelar kan enligt Hooper (1999) emellertid accepteras om lättnader i skyddet kan ske på ett snabbt och enkelt sätt under förhållanden då hotet är mindre. Detta medför ofta förslag på utformning av skyddet där detta ska kunna öppnas fram till vilket anses ge en känsla av ökad avkylning. Lösningen accepteras dock ändå inte av brukarna på grund av att det medför dubbla aramidlager, en stor nackdel eftersom det gör kroppsskyddet oflexibelt (stelt, okomfortabelt).

Nyttan av att bära hjälm har ifrågasatts (Challener och Duffin, 1993). Hjälms förmåga till ballistisk respektive icke-ballistisk skydd har diskuterats. Framförallt behovet av mekaniskt skydd i pansrade fordon är uppenbar enligt skadestatistik från Storbritannien. En parallell kan göras till USAs insats i Somalia där enligt Bowden (2001) soldaterna fördrog att använda sporthjälm typ hockeyhjälm istället för militära hjälmar. I situationen, där strid i bebyggelse dominerade, ansågs tydligen behovet av mekaniskt skydd vara större än ballistiskt för givet behov av komfort och rörlighet. Noteras bör dock att detta val gjordes av Delta Force soldater medan enligt Bowden (2001) jägarsoldaterna (Rangers) oftast bar sin aramidhjälm (K-pot). Genom en serie experiment och studier av skadestatistik ifrågasätter Misliwetz och Wieser (1989) nyttan av hjälm som ballistiskt skydd. Orsaken till den begränsade nyttan skulle vara att den ändrade stabiliteten som kulan får när den träffar hjälmen men även deformationen av kulan, anses kunna ge allvarigare skador än utan hjälm. Åsikten är att även aramidhjälm kan orsaka skador, då i första hand på grund av intryckning och acceleration av skallen vid träff på hjälmen.

## **ARBETSFYSIOLOGISK BELASTNING**

Den faktiska och upplevda belastning som kroppsskyddet utgör beror på den situation som soldaten befinner sig i. Upplevs hotet som litet kommer skyddet att kännas som en onödig belastning medan i en hotfull situation kommer skyddets komfortpåverkan att vara försumbar. Däremot kan skyddet vara eller upplevas vara begränsande vid genomförandet av uppgiften. Inverkan av skyddet på belastningen kommer dock inte helt att kunna särskiljas från den belastning som härrör från övrig utrustning. I situationer där vikten enbart upplevs som besvärande kommer betydelsen av kroppsskyddets vikt att vara utbytbar mot den hos övrig utrustningen, t.ex. ammunition.

### **Kortvariga, intensiva operationer**

Det är framförallt i samband med moderniseringen av infanteristen (ex.vis. LandWarrior) som bördans negativa inverkan på prestationen har tydliggjorts. Behovet av den högteknologiske, avsuttne soldaten, med god omvärldsuppfattning och stor eldkraft, tydliggjordes vid några operationer som amerikanska armén genomförde under 80- och början av 90-talet. Operationerna genomfördes i ”fientlig terräng” som delvis bestod av bebyggelse. Den erfarenheten och övningar som simulerade strid i bebyggelse har visat att de snabba förflyttningar som krävs för att ta terräng med skydd av omgivningen kräver en så stor fysisk kapacitet att flertalet soldater inte klarar uppgiften. Konsekvensen blir att förflyttningarna blir för långsamma och/eller att fysiska uthålligheten blir för låg. Problemet anses som en allvarlig inskränkning i utveckling av den moderniserade soldaten och behovet av åtgärder efterlyses av samtliga länder som har ett soldatmoderniseringsprogram.

Även om många från skilda länder (ISSC 1999, ISSC 2001) har påtalat problemet så är belastningsproblemet, rörelseförmåga – skydds nivå – skadeutfall, mycket sporadiskt beskrivet i den vetenskapliga litteraturen. Icke desto mindre är övertygelsen stark att bördans vikt är i alltför hög grad prestationsnedsättande. Att lite är beskrivet kan delvis bero på svårigheter att mättekniskt konfirmera prestationspåverkan. Dock så har Derrick et al. (1983) gjort försök att kvantifiera inverkan av kroppsskydd på kortvariga, mindre än en minut, stridsrelaterad aktiviteter. Van de Linde och Lotens (1988) nyttjade data från Derrick et al. (1983) och fann en tydlig koppling mellan vikt på kroppsskyddet multiplicerat med den kroppsytan som skyddet täckte och prestationen. Vid handgranatkastning minskade träffprocenten från 28 (%) då inget kroppsskydd bars till 20% då vikt gånger yta var  $5 \text{ (kg}\cdot\text{m}^2)$ . Ett vanligt (1988) kroppsskydd vägde 4,5 kg och täckte 30% av kroppsytan ( $0,6 \text{ m}^2$ ) vilket ger en faktor på 2,7 vilket enligt relationen bör ha minskat träffprocenten till ca 24%, en försämring med cirka 17 %. Ett annat mått beräknat ur Derrick et al. (1983) data var tiden att rusa genom bebyggelse. Där fann van de Linde och Lotens (1988) att när inget kroppsskydd resulterade i tiden 38 sekunder så orskade ett skydd med faktorn 5 en tid av 51 sekunder. Det ”vanliga” kroppsskyddet skulle alltså ha givit en tid på ca 45 sekunder vilket är en försämring med 18%. En genomgång av andra typer av militära aktiviteter med data från andra författare tyder på, enligt van de Linde och Lotens (1988), att prestationen minskar med cirka 30% jämfört med om inget kroppsskydd av splittertyp (utan förstärkningsplattor) bärs medan reduktionen i prestation är mindre än 10% om data kompenseras för kroppsskyddets vikt. Slutsatsen van de Linde och Lotens (1988) drar är att det är vikten på kroppsskyddet som orsakar den största delen av prestationsförlusten medan skyddets inverkan på rörligheten ansvarar för en mindre del vid jämförelse med utan kroppsskydd. Kroppsskyddets inverkan på prestationen i verklig strid är inte utredd då divergerande åsikter finns, alltifrån liten vinst till en kraftig reduktion av prestationen.

Inom vetenskapsvärlden finns omfattande litteratur som berör högintensiva aktivitetsnivåer i avseende på energiförsörjning, effektutveckling, biomekanik m.m. Den litteraturen diskuteras inte här i detalj på grund av problemet att översätta dessa kunskaper till militär förmåga, ett problem som förvisso är gemensamt med övriga ”civila” studier.

### **Långvariga, medeltunga till tunga operationer**

Vid längre, icke-maximala prestationer blir bördans effekt sannolikt mindre begränsande än vid t.ex. snabba förflyttningar. Om förflyttningshastigheten är självvald kommer den högre bördan att medföra lägre hastighet eftersom varje individ eftersträvar att nyttja en given del av sin maximala kapacitet. Det har visats (Polcyn et al., 2002) att belastningen på de olika lederna ändras linjärt med bördans vikt men att också en viss anpassning av gångstilen

utvecklas, sannolikt för att öka stabiliteten i gången samt att absorbera bättre de ökade reaktionskrafterna vid fotisättningen. Liknande studie har gjorts av Harman et al. (2000) men för olika kombinationer börda (6 till 47 kg) och marschhastighet (1,17 till 1,5 m/s). Studien visar att krafterna och belastningarna på bäraren ökar när hastigheten och eller vikten ökar. För given hastighet ökade stabiliteten med ökad vikt delvis genom anpassning av steglängd och –frekvens. Vid den högsta hastigheten, 1,5 m/s, och högsta vikten, 47 kg, kunde motsvarande anpassning inte ske utan stabiliteten försämrades, sannolikt med ökad skaderisk som följd. Effekten av ändrad tyngdpunkt hos buren börda har studerats av Johnson et al. (2001). De fann att energiomsättningen inte påverkas av om börda hade låg, mittimellan eller hög tyngdpunkt, ej heller om bördan fördelades på rygg och bröst. Stegfrekvens och steglängd påverkades inte heller. Däremot påverkade tyngdpunkten och sättet att bära såväl höftvinklar som knävinklar. Bördan fördelad på rygg och bröst föredrogs med all tydlighet framför att bära bördan på ryggen, oberoende av tyngdpunkt. Fördelen med den alternativa bärmetoden var upplevelse av ökad rörlighet och komfort.

Ett antal studier har även gjorts med kvinnliga soldater som försökspersoner med avsikt att identifiera skillnader mellan kön och andra egenskaper vid bärande av personlig utrustning, med eller utan kroppsskydd. Pandorf et al. (2001) studerade förmågan att bära 14 respektive 27 och 41 kg så snabbt som möjligt över 3,2 km. Tiden ökade från ca 26 minuter till 31 respektive 37 minuter. De bästa prediktorerna var maximal syreupptagningsförmåga (liter/minut) och kortast tid på 3,2 km utan utrustning (bättre). För 14 och 27 kg gav olika kroppsmått ingen ökad information medan för den tyngsta bördan, 41 kg, fanns en god koppling mellan prestation och kroppsstorlek. Harman et al. (1999) beskriver hur två amerikanska kombinationer av bärsystem och kroppsskydd (MOLLE/Interceptor (nyare) respektive ALICE/PASGT (äldre)), påverkade kvinnliga soldaters fysiska och stridstekniska prestation. Genomgående visades att den äldre kombinationen (ALICE/PASGT) var bättre i måtten snabbhet från stående till liggande och tillbaka till stående, rullning tre varv, ta sikte, tid på hinderbana (speciellt ålning), handgranatkastning m.m. Det nya systemet (MOLLE/Interceptor) var bättre i aspekter som kan sammanfattas i olika belastningsmått. En grov förenkling visar alltså att det äldre systemet är bättre för lösande av stridsuppgift medan det nya är mer komfortabelt. I en annan studie (Harman et al., 1999) jämfördes MOLLE/Interceptor-kombinationen med en prototyp av bärsystem (MLS) under strid, frammarsch och uthållighetssituationer. Bärekonomiskt så skilde det inte något mellan systemen. MLS var bättre än MOLLE i stridstaktiska övningar medan MOLLE hade genomgående en högre komfort och var lättare att anpassa till bäraren. Dock var ett genomgående problem att med kroppsskydd kunde bärsystemens höftbälte inte nyttjas fullt ut på grund av att höftbältet blev för löst sittande mot kroppsskyddet. Följden blev att alltför hög belastning hamnade på axlarna. Mycket tunga bördor, 34, 48 respektive 61 kg och deras inverkan på fysiologiska och kognitiva reaktioner har studerats av Knapik et al. (1993). Bärsystemen var antingen ALICE eller ett dubbel-pack” prototyp system. Marschsträckan var 20 km och sträckan skulle avverkas så snabbt som möjligt. Som förväntat ökade marschtiden liksom den fysiologiska belastningen med ökad börda. ALICE möjliggjorde de snabbaste tiderna men prototypen gav lägre hjärtfrekvens även efter korrigering av gånghastighet. Prototypen orsakade mindre ryggproblem och färre blåsor på fötterna men skapade mer nack- och höftproblem samt högre värmebelastning. Varken bördans storlek eller viktfördelningen påverkade soldatens kognitiva förmåga eller stridsteknisk förmåga. Å andra sidan orsakade marschen i sig själv försämrad stridsteknik och tid på hinderbana efter avslutad marsch.

Olika typer av ramar (till bärsystem), extern respektive intern har testats med avseende på fysiologisk belastning hos kvinnliga soldater (Kirk och Schneider, 1991). De bar 33% av sin

kroppsvikt med hastigheten 3,2 mph under en timme. Lutningen varierades var 15 minut från 0 till 3%. Resultaten visade att ramtypen varken påverkade energiomsättning, puls, ventilation eller psykofysiologiska subjektiva skattningar av belastning på bröst, skuldror eller ben. Det enda som påverkade mätdata var föfluten tid och lutning på rullbandet. Andra studier t.ex. Harper et al. (1997) har visat att bärustrustningen, som ofta är utvecklad utifrån mäns kroppskonstitution, orsakar större besvär hos kvinnor än hos män. Problemen orsakas bl.a. av axelremmarnas utformning, höftbältets passform och ryggsäckens stabilitet.

En maximal belastning i form av marsch med bördan 46 kg över 20 km med högsta hastigheten visade att fettfri kropp- eller muskelmassa var positivt korrelerad med förmågan att förflytta bördan snabbt (Knapik et al., 1990a). Samma försöksuppläggning (Knapik et al., 1990b) visade att skjutförmågan, efter förflyttningen, försämrades med 26% avseende antalet träffar och 33% avseende avstånd till centrum på målbilden. Handgrantkastningen försämrades med 9% (sträcka) men ingen skillnad i maximal vertikal hopp höjd uppstod. Upplevelsen av trötthet var påtaglig hos 82% av deltagarna och 38 % ansåg sig ha försämrad rörelseförmåga (kapacitet). Olika kombinationer av kroppsskydd och bärsystem har testats på män och kvinnor för bedömning av effekt på olika förmågor (Bensel et al., 1980). Studien visade, naturligt nog, att prestationen i skilda stridstekniska uppgifter var bäst när bara fältuniform bars. Sämst var den när både kroppsskydd och övrig utrustning bars. Kroppsskyddets negativa inverkan på rörelseförmågan, som därmed påverkar aktiviteter som handgrantkastning och sprint- och hoppövningar, har också visats av Lotens (1981).

En viktig faktor för prestationen i flera uppgifter var kroppsskyddets utformning avseende krage och axelparti. Det kroppsskydd som begränsade rörelsen mest på grund av utformningen av dessa detaljer gav sämst resultat. Effekten var särskilt stor för kvinnor, sannolikt på grund av skyddets storlek i förhållande till kvinnornas överkroppsmått. Liknande resultat avseende skulderpartiets utformning men även kragens har rapporterats av Bergh och Danielsson, (1986) och McGinnis (1972). Styvheten i materialet i dessa delar påverkar såväl rörlighet som effektkrav. Författarna fann också att med packning utanpå kroppsskyddet försämrades värdena ytterligare. Exempelvis lyft i axelhöjd krävde 10 till 15% högre energiomsättning då kroppsskydd bars jämfört med utan kroppsskydd. Med packning utanpå kroppsskyddet ökade kravet med cirka 40% när det styvaste kroppsskyddet bars. Motsvarande värde för det tunnare och smidigare kroppsskyddet var jämförbart med det utan packning.

I en serie av tre studier (Woods et al. 1997 a, b och c) görs jämförelse mellan två typer av kroppsskydd kombinerat med två bärsystem. Skillnader som identifierades var räckvidd, kroppshållning och gångstil. Effekten på lungventilationen av olika delar av personlig utrustning har studerats då förutom bärsystem även NBC-dräkt, andningsmask och ballistiskt kroppsskydd bars. Arbetet bestod av marsch med medelhög till hög intensitet (600W). Andningskapaciteten minskade med 20% pga andningsmasken medan NBC-dräkt, bärsystem och kroppsskydd bidrog med cirka 5% reduktion. Studiens författare varnar dock för att andra komponenter i lungventilationen påverkas mer och allvarligare av de faktorer som begränsar bröstorgans rörelse. Majumdar et al. (1997) har också studerat kroppsskyddets, vikt 9 respektive 11 kg, inverkan på olika fysiologiska variabler, under snabb marsch (jogging). Förutom förhöjd energiomsättning, ventilation och puls kunde försämrad lungfunktion uppmätas när kroppsskydd bars jämfört med utan detta. Legg (1988) har studerat om kroppsskydd med vikt under 10 kg kan påverka lungfunktionen på liknande sätt som tidigare rapporterats för ryggsäck och tunga rockar. Studien visade att viss inverkan sker på vitalkapacitet och forcerad utandningsvolym. Orsaken till försämringen kan antingen bero på kroppsskyddets vikt eller att det är åtsittande. Vissa resultat tyder på att det är det senare

(graden av åtdragning) som i huvudsak är orsaken. Effekten på bäraren bedöms som minimal om aktiviteten är låg. Däremot i kombination med rygsäck och tungt arbete kan effekten vara av betydelsen.

Viktigt är också att bördan bärs så symmetriskt som möjligt men också nära kroppens tyngdpunkt. Legg et al (1992) studerade den arbetsfysiologiska belastningen när 26 kg bars symmetriskt på ryggen alternativt med 18 kg på en axeln och 8 kg över den andra. Det senare bärsättet orskade signifikant större belastning.

Utvecklingen av nya system för den framtida soldaten kräver att dessa testas i samtliga situationer och miljöer som de ska användas i. USAs LandWarriorprogram inkluderar en mängd nya system som, integrerade, ska verka tillsammans, burna av soldaten. En studie av detta jämfört med konventionell buren utrustning har testats avseende skjutförmågan hos skarpskyttar i liggande och stående ställning (Tharion och Obusek, 1999). Resultaten visade entydigt att i liggande ställning så medförde det nya Landwarriorsystemet avsevärt sämre resultat där skyttarna träffade 42% längre från målet, spridningen i träffbilden var 214% större och det tog 38% längre tid till skott. Den huvudsakligen anledningen till det sämre resultatet var att det nya bärsystemet med komponenter är hårda och kontakten med hjälmen förhindrade skytten att lyfta huvudet tillräckligt för att se målet bra.

Den fysiska belastningen, kombinerad med den mentala, har studerats i några få studier med avseende på inverkan av buren börda och terräng. Crowell III et al. (1999) lät tolv soldater bära 23 respektive 37 kg på asfaltsväg, i sand och i lerigt underlag. Effekten av lera som man ville studera var hur slipprigt underlag påverkar belastningen inte hur underlagets mjukhet påverkade. Energiomsättningen vid gång i sand och lera var lika och 40% högre än på slät asfalt. Tiden påverkade energiutvecklingen på så sätt att allt högre värden erhöles ju längre tiden gick. Övriga fysiologiska variabler, hjärtfrekvens och lungventilation visade likartade mönster som energiomsättningen. De psykofysiologiska reaktionerna skilde sig åt från de fysiologiska. Där gav den tyngre bördan signifikant högre värde på upplevd fysisk belastning jämfört med den lättare medan de olika underlagen inte gav någon skillnad trots att energiomsättningen påverkades i avsevärt högre grad av underlaget än av bördans vikt.

### **Biomekaniska modeller och bärseleprototyper**

Det finns ett antal matematiska modeller som beskriver de krafter som uppstår på bäraren när han förflyttar sig med sin börda. Gretton och Howard (2000) beskriver en sådan modellutveckling som baseras på data insamlade från en testrigg där dynamiska förlopp kan följas. Pelot et al. (2000) har också utvecklat en tvådimensionell biomekanisk modell med syfte att beskriva krafterna som uppstår på skuldrorna och höftbältets kontaktpunkter. Modellen har verifierats med docka i laboratoriemiljö. Genom att variera bl.a. axelremmarnas infästningar i modellen kan den användas till att optimera den totala belastningen på bäraren. Olika tekniker är beskrivna som möjliggör mätning av det tryck som uppstår i kontaktpunkterna mellan bärare och börda (Murin et al., 2001, Wilson et al., 2000). Teknikerna tillåter i flera fall att mätningar sker under realistiska förhållanden. En målsättning är att minska punktbelastningar genom att sprida ut kontaktyta. Martin och Hooper. (2000) beskriver en bärram som möjliggör större kontaktyta men samtidigt tillåter luftspalt mellan bärramen och ryggen. Holewijn och Meeuwsen (2001) studerade effekten av vikt (0, 5,4 och 10,4 kg) och typ av bärarordning på fysiologisk mekanisk stress under gång och stillastående. Vid stilla skedde minimal påverkan medan gång orsakade påtaglig ändrad EMG-aktivitet över skuldrorna. Trycket på huden under bärremmarna var mer än tre gånger större än

träskelvärdet för hudirritation. Genom att använda bärbälte så sjönk påverkan på axlarna under träskelvärdet.

### **TERMOFYSIOLOGISK BELASTNING**

Termisk belastning under korta men intensiva militära operationer har inte beskrivits i litteraturen enligt författarens kännedom. Orsaken kan vara att de termiska problemen under sådana aktiviteter inte är stora nog i förhållande till de arbetsfysiologiska. Värmebelastning är annars den form av termiska problem som i första hand betraktas som aktuellast. Värmeutvecklingen under högintensiva aktiviteter är stor men eftersom aktiviteten antas pågå endast några få minuter så blir höjningen i kroppstemperatur inte alarmerande. Men om klimatet är varmt och/eller fuktigt och aktiviteten upprepas ett antal gånger så kan värmen definitivt bli ett problem för prestationen, såväl den fysiska och inte minst den mentala. En enkel beräkning visar att om arbetet innebär en mycket snabb förflyttning med stridsutrustning och att ruschen pågår 20 sekunder kommer värmeutvecklingen att kunna vara ca 1500W. Människans värmekapacitivitet är 3,48 kJ/(kg•K) så om kroppsvikten är 70 kg kommer förflyttningen, utan värmeavgivning, att innebära en temperaturökning i kroppen med drygt 0,1°C. Den ökningen innebär inget problem men om tidigare aktiviteter i kombination med varmt klimat har höjt kroppstemperaturen till, säg 38°C så kan att antal upprepningar av sådana ruscher medföra temperaturnivåer som innebär oförmåga till fortsatt arbete, åtminstone med motsvarande intensitet.

Något vanligare är studier av kroppsskyddets inverkan på värmebalansen i samband med mer långvarig verksamhet såsom förflyttning till fots ett antal kilometer eller mil. Enligt beräkningen ovan kommer, även vid avsevärt lägre effektutveckling, värmen att kunna bli besvärande då tidsrymden är timmar. Kroppsskyddet är impermeabelt för vatten i gasfas. Med andra ord så kan svett inte dunsta genom skyddet. Eftersom ett kroppsskydd täcker minst bålen så kommer cirka 30% av kroppsytan att inte kunna kylas med hjälp av dunstning. Om kroppsskyddet görs än mer täckande så ökar värmeproblemen ytterligare vilket visats av Bergh och Danielsson (1986). Ett midjekort kroppsskydd orsakade cirka 15% lägre värmelagring än ett som täckte hela bålen vid medeltungt (550W) arbete på rullband.

Ett sätt att komma runt problemet med ökad värmebelastning vore att öka luftomsättningen mellan hud och kroppsskydd så mycket att luften kunde bära med sig en del av den vattenånga som dunstar. Flera studier har dock visat att detta i praktiken inte fungerar. En viktig anledning är att kroppsskyddet är relativt "tight" åtdraget kring den skyddande delarna. Detta reducerar luftomsättningen avsevärt. Dessutom finns alltid ett antal klädeslager under kroppsskyddet som effektivt förhindrar luftomsättningen. Ett försök till att skapa spalter där luften skulle kunna flöda gjordes på FOA i uppdrag från FMV på 1980-talet. Vertikala ribbor påsydda på kroppsskyddets insida skulle fungera som skapare av fria luftvägar. Effekten blev dock att kroppsskyddet blev ännu varmare än utan ribbor eftersom spalterna blev igenproppade av uniformen med ökat värme- och fuktmotstånd som följd. Helt klart är att buret kroppsskydd ökar kravet på vätskeförsörjningen. Storleken på denna antyds av Montain och Stammings (2000) där beräkningar pekar på att logistiken måste kunna hantera ett ökat vätskebehov från några deciliter per dygn vid gynnsamt klimat och aktivitet till flera liter per dygn när soldaten bär kroppsskydd.

En viktig del i bärarkomforten och därmed motivationen att bära kroppsskydd är att kroppsskyddet bör lätt kunna öppnas för att "släppa ut" värme och fukt. Cadarette et al. (2001) visade att öppningarna inte fungerar som önskat. Inte ens kroppsskydd som till synes

är helt öppna fram eller i sidan innebär någon lättnad komfortmässigt, än mindre ur värmebalanshänseende. Motivet för att kunna öppna en väst framtill reduceras av dessa skäl till att det lätt ska kunna gå att ta på och av västen. Men som Hooper (1999) påpekar så innebär öppningar ofta att skyddande lager överlappar varandra med minskad rörlighet och bärarkomfort som följd. Det svenska kroppsskyddet m90 var avsett för att bäras under fältuniformsjackan, delvis av skälet att ett utanpåliggande kroppsskydd försvårar nyttjandet av jackans fickor. Bärtekniken innebar å andra sidan ökat besvär vid på och avtagandet av skyddet. Delvis därför utvecklades det senare skyddet, m94, för att bäras utanpå fältuniformsjackan.

En direkt följd av ökad svettning vid bärande av kroppsskydd är att mer vätska samlas i kläderna. Det innebär bl.a. hygieniska problem men även slitage på huden ökar som följd av att våta plagg nöter på huden när den burna utrustningen rör sig under aktiviteter. Det här är inte bara ett varmt-väderfenomen. Även under kalla förhållanden kommer fukt att samlas under kroppsskyddet. Även när ingen svettning förekommer blir det ändå fuktigt eftersom den vattenånga som alltid diffunderar ut genom huden nu kommer att kondensera på kroppsskyddets insida och därmed våta plaggen. Detta innebär i första hand okomfort när fukten via olika vägar ändå kommer att dunsta. Den kalla, våta skjortan eller undertröjan närmast huden kommer att kännas mycket okomfortabel och vid låg aktivitet kan fukten komma att medföra en påtaglig nedkylning. Effekten har påtalats av soldater och befäl och besvären upplevs påtagliga av såväl fordonsbaserade personal som infanterister som förflyttar sig till fots.

### **Kortvariga, intensiva operationer**

Termisk belastning under korta men intensiva militära operationer har inte beskrivits i litteraturen enligt författarens kännedom. Den ”civila” vetenskapliga litteraturen innehåller dock sådana men den direkta tillämpbarheten på militära situationer är begränsad. Dock kan kunskapen om värmeproduktion under skilda arbetsformer användas för att beräkna värmebelastningen i olika taktiska situationer.

### **Långvariga, medeltunga operationer**

Cadarette et al. (2001) studerade den termiska belastningen som orsakades av kroppsskydd, öppnad i olika omfattning och på skilda sätt. Klimatet var varmt (40°C) och torrt (20%) (öken) och vindhastigheten varierades mellan 1 och 2,5 m/s. Kroppsskyddet bars antingen fullt påtaget eller med skyddet över axlar och hals borttaget. Kroppsskyddet bars även öppet fram, öppet i sidorna eller helt stängd. Den fysiska belastningen bestod av gång i 100 minuter med medelbelastning (425 W). Resultaten var likartade oberoende av skyddsgrad/-nivå. Ingen förbättring i kylning eller minskad vätskeförlust erhöles vid någon typ av öppning eller borttagande av skydd jämfört med stängt kroppsskydd.

Kroppsskydd ökar ofta den termiska belastningen med ökat vätskebehov som följd. Belastningen blir speciellt påtaglig i varma och/eller fuktiga klimat eftersom kroppsskyddet dels adderar en isolation till stor del av bålen samt att skyddet är ogenomträngligt för vattenånga (Goldman 1969, Haisman och Goldman, 1974). Ingen dunstning av svett kan därmed ske genom skyddet. Montain och Stamm (2000) beskriver utifrån en modell hur mycket behovet ökar för skilda situationer. Om kroppsskydd adderas till fältuniform beräknas vätskebehovet öka med från 0,3 l per dag till 2 l/dag där det högre värdet gäller varmt klimat och hög värmeproduktion (tungt arbete). Bergh och Danielsson (1986) fann att kroppsskydd ökade kroppens vätskeförlust med cirka 0,1 l/h vid medeltungt arbet i gynnsamt klimat (20°C, rh=20%) vilket pekar på att om längre förflyttningar sker med påtaget kroppsskydd kommer



vätskebehovet att öka påtagligt. Enligt samma studie kommer en stor del av svettet att fastna i kläderna vilket har betydelse för hygien och termisk komfort samt risk för nedkylning i kallt klimat. Under de två gånger 25 minuterna av arbete fastnade 0,5 l svett i käderna då kroppsskydd bars medan motsvarande värde för enbart fältuniform var cirka 0,3 l.

## MENTAL BELASTNING

Människans prestationsförmåga påverkas av ett stort antal faktorer av både fysiologisk och psykologisk karaktär. Skillnader mellan individer resulterar i olika reaktionsmönster när individen utsätts för någon form av störning. Den mentala kapaciteten och prestationsförmågan påverkas av en mängd faktorer som genomgående är mindre väl belysta än de fysiologiska faktorerna. Bedömningen av hur soldaten mentalt påverkas innehåller många frågetecken och kopplingen till miljö och fysiologi är oklar. Hur individerna i en grupp påverkar varandra är också till stora delar obekant.

Den mentala, kombinerat med den fysiska, belastningen har studerats i några få studier med avseende på inverkan av buren börda och terräng. Crowell III et al. (1999) lät tolv soldater bära 23 respektive 37 kg på asfaltsväg, i sand och på lerigt underlag. Den lättare utrustningen bestod av normal stridspackning, dock utan kroppsskydd. Den tyngre utrustning bestod dessutom av detaljer som ger uthållighet, dock ej för vinterförhållanden. Varje arbetspass pågick under cirka en timme och förflyttningshastigheten var 1,1 m/s. De mentala testerna utgjordes av tre prov som kunde utföras under aktiviteten med hjälp av ett bandspelarsystem. Ett test innebar lösandet av aritmetiska uppgifter innehållande addition och subtraktion med tre tal där varje tal var mindre än tio. Det andra testet var ett minnestest där försökspersonen skulle memorera fyra ord som repeterades en gång. Därefter fick de lyssna på sexton ord som kunde innehålla något eller några av de ord som hade memorerats. Om orden ingick skulle svaret vara "yes" annars "no". Det tredje provet testade uppfattningsförmågan via hörseln. Försökspersonen ombads "bevaka" ett anrop t.ex. "Zulu22, Hotel 43 eller Alfa 16". I en simulerad radiotrafik skulle försökspersonen svara på "sitt anrop". Resultaten visade att testet gav signifikant lägre felfrekvensen vid den lägre bördan vid slutet av arbetsperioden medan ingen skillnad fanns i början av perioden. Däremot gav inte underlaget upphov till någon skillnad i hörbarhets/uppmärksamhetstestet. För de andra testen, det aritmetiska och minnestestet var resultaten oberoende av börda, underlag och tidpunkten.

Individer påverkas olika av värme ur fysiologisk synvinkel. Därför kommer förmågan att motstå mentala störningar också att vara individbunden där graden av acklimatisering inverkar. Den mentala påverkan av kyla är mindre studerad och kommenteras inte här av det skälet. Acklimatisering har betydelse ur två aspekter, dels att en tillvänjning till värme leder till att kroppens fysiologiska reaktion blir annorlunda, ofta mer gynnsam, än för den som inte är acklimatiserad (Sawka et al. 1983). En annan, mental acklimatisering är vanan att utföra ett visst arbete i värme. De mentala reaktionerna förändras med erfarenhet och den vane låter sig inte stressas så lätt av påfrestningen jämfört med den som inte är acklimatiserad. Även om två individer har samma kroppsreaktioner i en given situation kommer den som är bättre mentalt förberedd att vara mindre påverkbar i negativ riktning än den som inte är tillvanda till situationen. Andra faktorer som direkt eller indirekt har betydelse för mental förmåga är hur mycket fysiskt arbete som utförs i samband med påfrestningen. Skicklighet och träningsgrad har också visat sig vara av stor betydelse för den mentala prestationsförmågan i varmt klimat. Kombinationer mellan värme och andra stressorer har naturligtvis betydelse liksom motivation och andra individuella uppgifts- och arbetsrelaterade faktorer.

Den gängse synen på kopplingen mellan förmågan att lösa en uppgift och acklimatisering (Hancock, 1982) är att den som är acklimatiserad borde vara mer tolerant och fysiologiskt mer kapabel för arbete i varmt klimat. Han borde även vara mer motståndskraftig gentemot prestationsförlust om uppgiften innebär krav på fysisk reaktion. För enkla, mentala och fysiska uppgifter är dock skillnaden mellan den som är acklimatiserad och den som inte är det sannolikt begränsad. (Ramsey, 1995). Optimal aktiveringströskel finns sannolikt för varje uppgift som utförs (Wyon, 1970). Tröskeln är lägre för de mer komplexa uppgifterna medan enkla uppgifter har en högre retningströskel. Genomgående kommer den skicklige ha högre motstånd mot prestationsnedsättning jämfört med den mindre skicklige. Detta gäller dock inte om situationen redan är så krävande att den exponerade är överbelastad, då kommer skillnaden mellan de två kategorierna att suddas ut.

Mental prestationförmåga påverkas av beklädnaden om den fysiskt begränsar exempelvis öga-handfunktionen. Detta har uppmärksammats av flera som påpekat risker med imbildning och brytningsfel hos de skyddsglasögon som bars. Val av övrig buren utrustningen kan ha betydelse om skilda typer av kläder medför att kroppstemperaturen stiger olika mycket. Den beklädnad som orsakar en högre värmebelastning kommer att försämra den mentala arbetsförmåga mer. Detta är en anledning till att minröjare tydligt poängterar att mängden plagg inklusive skyddsutrustningen står i motsattsförhållande till upplevd risk/säkerhet (Danielsson och Keinänen, 1999). Vissa plagg kan lokalt ge muskelutmattning (Bergh och Danielsson, 1986) vilket har negativ effekt på uppgifter som kräver öga-handreaktion, men nedsättningen är huvudsakligen av neuromuskulär karaktär och inte mental. Följden är dock att t. ex. minröjaren kan känna en osäkerhet. Detta påpekas i såväl enkäten som i Humansystems (1995) där de mest kritiska minröjningsuppgifterna önskades utföras med minimalt skydd som varken tröttar, begränsar syn eller räckvidd.

Värmen tycks ha mindre betydelse om huvuduppgiften är kognitiv. Tiden för värmepåverkan tycks dessutom ha mindre effekt än själva värmebelastningsnivån. Om kroppens värmereglering är satt ur spel kommer värmelagringen i kroppen och därmed temperaturen att stiga kontinuerligt. Då kommer tiden att ha betydelse för den mentala prestationsförmågan. Om kroppen befinner sig i balans så tycks däremot medelprestationen inte påverkas av den tid som kroppstemperaturen är förhöjd. Däremot finns indikationer på att variationen i prestation kan öka. Flera stressorer, t.ex. samtidigt värme och buller, kan medföra högre belastning på individen än då bara en stressor är aktiverad (Bell, 1978). Betydelsen av additiva faktorer tycks dock vara mycket situations- och uppgiftsberoende.

En försämring av mental prestationsförmåga sker vid 30-33 °C WBGT (luft- och strålningstemperaturen vid 100% luftfuktighet) vilket också representerar den exponeringsnivå som inte bör överskridas enligt NIOSH (1986). Över denna nivå erhålls effekt på komplexa uppgifter där kort exponering, ca 20 minuter, kan tolereras vid ett omgivningsklimat på ca 45°C WBGT medan 180 minuters exponering kanske bara kan tillåta ett klimat motsvarande 30 till 35 °C WBGT. Den lägre temperaturen (30°C) gäller komplicerade uppgifter medan den högre (35°C) kan tolereras vid rent kognitiva uppgifter. Den faktiska risken för felgrepp eller felbedömning vid förhöjd omgivningstemperaturer har också studerats bland helikopterpiloter. När lufttemperaturen var under ca 30°C (varmare i cockpit på grund av solinstrålning) fanns ingen förhöjd risk jämfört med lägre temperatur och utan solinstrålning medan i intervallet 30 - 34 °C var risken 1,6 ggr större (än vid lufttemperaturer under 30°C) att olycka skulle inträffa. Vid temperaturer över 35°C var risken 6,2 ggr större (Froom, et al., 1993).

Skicklighetens betydelse för nedgången i prestation under termisk belastning vid mottagning av morsemeddelanden har studerats av Hancock (1986). Antalet fel ökade för såväl den skicklige som den mindre skicklige vid en viss temperatur, men felfrekvensen var hela tiden högre för den mindre skicklige. Uppgifter som innebär informationsmottagande är alltså känsliga för dels värmepåverkan dels för hur länge uppmärksamhet krävs. Vid lägre temperatur påverkas felfrekvensen bara av den tid som uppmärksamhet krävs medan graden av erfarenhet inför uppgiften har mindre betydelse. Vid högre temperatur försämras de erfarnas prestation betydligt mindre med tiden jämfört med de oerfarna. Den som är van vid en viss stressituation påverkas således inte lika tidigt som den som inte är så van. Om dessutom skickligheten är olika kommer den mindre skicklige att snabbare förlora i prestation. Dessa mekanismer bör ha betydelse även vid aktiviteter som minröjning. Detta pekar på den stora betydelsen som träning har och då inte minst under förhållanden som innehåller andra stressorer än den som direkt uppfattas som fara.

De flesta studier av mental prestation har gjorts vid låg, fysisk arbetsbelastning. Resultaten tycks vara kopplade till effektiv temperatur under exponeringen. Men Hancock (1982) baserade inte sina exponeringsgränser på klimatet, utan på värmelagring i kroppen. Detta gör att påverkan på mental prestation kan relateras till olika fysiska aktiviteter, klimat och beklädnader. Gränsen som ger fysiologisk utmattning är cirka 6 kJ/kg vid lite längre förlopp (timmar). För mentala och kognitiva uppgifter går gränsen för degradering vid 4,6 kJ/kg medan uppgifter som kräver uppmärksamhet påverkas vid en värmupplagring av 3,1 kJ/kg. För komplexa aktiviteter kan försämring uppstå redan vid 0,8 kJ/kg. Nivåerna är approximativa och påverkas av både träning och miljöerfarenhet. Givet är dock att vid lite längre exponeringstider påverkas den mentala prestationen innan effekter syns på den fysiska prestationen.

Vätskebrist kan ge upphov till mental prestationsnedsättning. Enbart dehydrering, utan kroppstemperaturhöjning, kan vara en källa till nedsatt prestationsförmågan vilket olika försök har visat (t. ex. Shama et al. 1986). En tvåprocentig dehydrering, motsvarande ca 1,7 kg, försämrar signifikant minne och koordination och försämringen ökar med dehydreringsgraden, medan lägre värden än 2% inte tycktes ge någon försämring.

## **SAMMANFATTNING**

En litteraturgenomgång har gjorts avseende fysisk och mental belastning och prestation hos soldaten då han bär olika bördor. Intresset har, i den omfattning som litteraturtillgången medgivit, fokuserats på kroppsskyddets del i belastningen, burens enbart eller som en del av den totala burna bördan. Antalet funna studier där kroppsskyddet är centralt har varit begränsat vilket medför att de slutsatser som kan ges avseende relationen mellan belastning och prestation är begränsad. Noteras bör också att antalet studier inkluderande kroppsskydd och kallt klimat är försvinnande litet.

Optimalt vore ett kroppsskydd som täcker hela kroppen, som motstår höghastighetsprojektiler, men som samtidigt har liten massa och som medger hög rörlighet med minimal verkan på kroppens värmebalans. Ett sådant kroppsskydd är orealiserbart.

En central fråga är hur ett kroppsskydd ska utformas för att ge hög bäraracceptans annars blir kroppsskyddet ett resursslöseri. Ett kroppsskydd är med dagens material ej permeabelt för vattenånga vilket innebär att materialet förhindrar dunstning av svett. Det skulle innebära att ett skydd med högre grad av täckning blir mer termiskt okomfortabelt vilket är negativt för

acceptansen. I värmetransporthänseende är ett kroppsskydd med förstärkningsplattor inte mycket sämre än ett skydd som bara förhindrar penetration av splitter, stickvapen och låghastighetsprojektiler. Men ofrånkomligt är att ett kroppsskydd höjer värmebelastningen, mer ju tyngre skyddet är. Kravet på vattenförsörjningen och -konsumtion ökar. Vätskeförlust minskar på sikt arbetsförmågan och uttorkning har eventuellt effekt på den mentala prestationsförmågan. Om kroppsskyddet ger ökad värmebelastning kommer den mentala prestationen i termer av uppmärksamhet att försämrats. Det är en oönskad effekt, framförallt i det framtida försvaret där kravet på god omvärldsuppfattning är centralt.

Flera studier har pekat på att skilda typer av öppningar inte ger det bidrag i ökad värmeavgivning och komfort som önskas. Att utveckla kroppsskydd med finesser som ska tillåta ”ventilation” är sannolikt bortkastade resurser. Däremot bör kroppsskyddet göras så att det lätt kan tas på och av utan att därför kräva lösningar som ger dubbla materiallager med ökad vikt och styvhet som följd.

Ett kroppsskydd som sitter löst på kroppen skulle i princip kunna öka luftomsättningen under skyddet och därmed förbättra komfort och värmebalans. De flesta önskar dock ha kroppsskyddet åtsittande vilket också kanske är gynnsamt ur skyddssynpunkt. Dessutom måste passformen var god om övrig utrustning ska kunna bäras utanpå kroppsskyddet. Problem har ändå identifierats när det gäller att kunna nyttja ett höftbälte optimalt. Risk finns att vid tunga bördor axelarna får bära en alltför stor del av bördan med minskad uthållighet som följd.

Ett annat problem med åtsittande kroppsskydd är den påverkan det kan ha på lungventilationen. Förmågan till andhämtning begränsas vilket kan påverka bland annat den fysiska arbetsförmågan.

Ett kroppsskydd med förstärkningsplattor blir med nödvändighet tungt. Om skyddet gör att den totala bördan blir stor kommer uppmärksamheten att påverkas negativt, även om värmebelastningen är begränsad. Ett tungt kroppsskydd påverkar effektutvecklingen och därmed värmeproduktionen på så sätt att mer värme utvecklas för givet arbete jämfört med om skyddet är lätt. En minskande del av blodcirkulationen kan därmed försörja musklerna med bränsle. Därmed minskar till exempel förmågan till snabba förflyttningar och uthålligheten begränsas. För bäraren innebär den ökade vikten också högre mekanisk belastning på leder och muskler med ökad risk för överbelastning och skada. Detta gäller inte minst vid till exempel strid i bebyggelse på grund av korta stridsavstånd och ibland besvärligt underlag.

Ett tungt kroppsskydd ger låg bärarkomfort. Ett krävande markunderlag som ger en fysisk belastning som är högre än den som orsakas av tung börda uppfattas ändå som mindre krävande än bördan. Det innebär att ett kroppsskydd kommer att uppfattas som mer belastande än det faktiskt är i termer av energiomsättning. Orsaken kan vara påverkan av lungventilationen men kan också vara en följd av den begränsade rörlighet som skyddet orsakar. Detta är speciellt viktigt för stridande soldater eftersom rörlighet i exempelvis axelpartiet har stor betydelse för förmågan att söka och ta sig ur skydd, förmåga att kasta handgranat, förmåga att sikta och träffa med handeldvapen m.m.

Kroppsskyddets vikt och effekt på rörligheten innebär att bidraget från aktivt skydd, det vill säga förmågan att minska exponeringstiden för fientlig bekämpning, minskar. Generellt kommer ett passivt skydd (kroppsskyddet) som blir alltmer kapabelt att förhindra penetration av stridsdelar att samtidigt minska graden av aktivt skydd. Relationen mellan massa och

effekten av passivt skydd kommer att skära motsvarande linje för aktivt skydd. Den punkten ger det optimala skyddet. Ett framtida mål är att finna den skärningspunkten och därmed det optimala skyddet. En komplikation är att detta sannolikt kommer se olika ut beroende på hotet. En viktig del i framtida studier är därför att identifiera hur ett tillräckligt bra skydd är utformat så att antalet och typen av förluster blir acceptabla för individen och försvarsmakten.

#### KROPPSSKYDD.....

- minskar risken för skada vid träff
- gör att ev. skada vid träff kan bli lindrigare
- har ibland låg bäraracceptans
- som går ”omlott” är mer hindrande
- är fysiskt, och ibland mentalt, belastande
- med förstärkningsplattor är mer belastande
- kan försämra lungventilationen
- ökar ofta värmeproduktionen
- ökar ofta värmebelastningen
- ökar ofta vätskebehovet
- med ”ventilationsmöjlighet” ger inte ökad komfort
- försämrar höftbältets förmåga att avlasta axlarna
- försämrar rörligheten och därmed det ”aktiva skyddet”
- kan försämrar stridsförmågan

## LITTERATUR

Belenky, G L.; Krueger, Gerald P.; Balkin, T J.; Headley, D B. och R. E. Solick. Effects of Continuous Operations (CONOPS) on Soldier and Unit Performance: Review of the Literature and Strategies for Sustaining the Soldier in CONOPS. Descriptive Note: Technical rept., Report Date: APR 87. ADA191458

Bell, P. A. Effects of noise and heat stress on primary and subsidiary task performance, *Human Factors*, 1978.

Bensel, C. K.; Fink, D. S. och S. A. Mellian. The Psychomotor Performance of Men and Women Wearing Two Types of Body Armor Descriptive Note: Technical rept. Report Date: MAR 1980. ADA086742

Bergh, U. och U. Danielsson. Skyddsvästars inverkan på fysisk belastning. FOA rapport C 50043-5,1, 1986.

Bergh, U. och U. Danielsson. Provning av prototyper till ny larmdräkt för Statens Räddningsverk. FOA. PM Dnr: 89-6060/S, 1989

Bowden, M. *Black Hawk Down. A story of modern war.* p. 167, Signet, New York, 2001.

Cadarette, B. S.; Blanchard, L; Staab, J. E.; Kolka, M. A. och M. N. Sawka. Heat Stress When Wearing Body Armor Descriptive Note: Technical rept . Report Date: MAY 2001 AD Number: ADA384550

Carey ME. Analysis of wounds incurred by U.S. Army Seventh Corps personnel treated in Corps hospitals during Operation Desert Storm, February 20 to March 10, 1991. *J Trauma* 1996 Mar;40(3 Suppl):S165-9

Challener, S., och A. Duffin. Why Should Soldiers Wear Helmets? New Development in Mechanics, Biomechanics and Design Aspects of Military Helmets, Proceedings of the Conference held at Defence Research Agency, Farnborough, Hampshire, 1-3 December 1993. Defence Research Agency, Flight Systems Department, Farnborough

Crowell III, H. P, Krausman, A. S.; Harper, W. H.; Faughn, J. A. och M. A. Sharp. Cognitive and Physiological Performance of Soldiers While They Carry Loads Over Various Terrains. Descriptive Note: Final rept., Report Date: MAY 1999. ADA364064

Danielsson, U. och J. Keinänen. Fysisk belastning vid minröjning i Västsahara. Resultat från en enkätundersökning och datorsimulering. FOA-R—9901100-720—SE, 1999

Froom, P., Caine, Y., Shochat, I. och Ribak, J. Heat stress and helicopter pilot errors. *Journal of Occupational Medicine*, 35, 1993.

Gofrit, O. N., Kovalski, N., Leibovici, D., Shemer, J., O'Hana, A., och S. C. Shapira. Accurate anatomical location of war injuries: analysis of the Lebanon war fatal casualties and the proposition of new principles for the design of military personal armour system. *Injury*, 27(8), 577-581, 1996.

Goldman, R. F. Physiological costs of body armour. *Military Medicine*, 1134, 204-210, 1969.

Gotts, P. A suit of armour for the 21 st century: Development or dream? ISSC 2001 (International Soldier System Conference), Bath, England, 2001.

Gretton, M och D. Howard. Identifying and Modelling the Dynamic Behavior of Load Carriage Systems. Report Date: MAY 2001 Medicine Panel (HFM) Specialists' Meeting, Kingston, Canada, 27-29 Jun 2000. ADP011009

Haisman, M. F. och R. F. Goldman. Physiological evaluation of armoured vests in hot wet and hot dry climates. *Ergonomics*, 17, 1-12, 1974

Hancock, P. A. Task categorization and the limits of human performance in extreme heat. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 1982.

Hancock, P. A. The effect of skill on performance under environmental stress. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 1986.

Harman, E.; Han, K.-H. och P. Frykman. Load-Speed Interaction Effects on the Biomechanics of Backpack Load Carriage. Report Date: MAY 2001 p5-1/5- 16, 27-29 Jun 2000. ADP010991

Harman, E; Frykman, P; Pandori, C; Tharion, W och R. Mello. Physiological, Biomechanical, and Maximal Performance Comparisons of Female Soldiers Carrying Loads Using Prototype U.S. Marine Corps Modular Lightweight Load-Carrying Equipment (MOLLE) with Interceptor Body Armor and U.S. Army All-Purpose Lightweight Individual Carrying Equipment (ALICE) with PASGT body Armor. Report Date: FEB 1999. ADA365448

Harman, E; Frykman, P; Pandori, C; Tharion, W och R. Mello. Physiological, Biomechanical, and Maximal Performance Comparisons of Soldiers Carrying Loads Using U.S. Marine Corps Modular Lightweight Load- Carrying Equipment (MOLLE), and U.S. Army Modular Load System (MLS) Prototypes. Descriptive Note: Technical rept., Report Date: FEB 1999. ADA361454

Harper, W.H., Knapik, J. J., de Pontbriand, R. Equipment Compatibility and Performance of Men and Women during Heavy Load Carriage. Ancient Wisdom - Future Technology. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics, ?????

Holewijn, M och T. Meeuwsen. Physiological Strain During Load Carrying: Effects of Mass and Type of Backpack Report Date: MAY 2001. ADP010987

Homes, R. H., Ener, W. F. och J. C. Beyer. Medical aspects of body armor used i korea. *J.A.M.A.* 155, 1477-1478, 1954.

Hooper, R.H. Why Do Police Officers Leave Their Body Armour in the Cupboard. *Contemporary Ergonomics 1999*, Edited by M.A. Hanson, E.J. Lovesey and S.A. Robertson. Taylor & Francis, London 1999

Hughes, T. A. Biomechanical Model of the Human Thorax for Impact Analysis  
Descriptive Note: Master's thesis. Report Date: SEP 1999. ADA370880

Humansystems Incorporated. Human factors evaluation of the battlefield munitions disposal protective ensemble. MIC-97-01571, 1995.

ISSC 1999 (International Soldier System Conference), Orlando, FL, USA, 1999.

ISSC 2001 (International Soldier System Conference), Bath, England, 2001.

Jameson, J. W., Merkler, J. M. och Kohn, M. C. Analysis of WDMET M26 grenade cases for armour vest protective effect. Edgewood Arsenal report EB-TR-75402, 1975.

Johnson, R. C.; Pelot, R. P.; Doan, J. B. och J. M. Stevenson. The Effect of Load Position on Biomechanical and Physiological Measures during a Short Duration March. Report Date: MAY 200. ADP010990

Jolly, J E. och Y. W. Kwon. Computer Modeling and Simulation of Bullet Impact to the Human Thorax Descriptive Note: Technical rept., Report Date: JUN 2000. ADA378989

King, Q. M. Biomechanical Response Due to Fragment Impact on Ballistic Protective Helmet. Descriptive Note: Master's thesis, Report Date: MAR 1998. ADA345514

Kirk, J och D. A. Schneider. Physiological and Perceptual Responses to Load Carrying in Female Subjects Using Internal and External Frame Backpacks. Descriptive Note: Final rept. Jan-Oct 90, Report Date: APR 91. ADA234941

Knapik, Joseph; Reynolds, Katy, 1997. Load Carriage in Military Operations: A Review of Historical, Physiological, Biomechanical, and Medical Aspects. ADA330082

Knapik, J; Johnson, R; Ang, P.; Meiselman, H. och C. Bensel. Road March Performance of Special Operations Soldiers Carrying Various Loads and Load Distributions. Report Date: 93. ADA269198

Knapik, J; Staab, J; Bahrke, M; O'Connor, J och M. Sharp. Relationship of Soldier Load Carriage to Physiological Factors, Military Experience and Mood States. Descriptive Note: Rept. for Jan 89-May 90. Report Date: MAY 90. ADA227007

Knapik, J; Staab, J; Bahrke, M; Reynolds, K och J. Vogel. Soldier Performance and Mood States Following a Strenuous Road March. Descriptive Note: Rept. for Apr-Jul 89, Report Date: JAN 90. ADA217895

Knapik, J. Loads Carried by Soldiers: Historical, Physiological, Biomechanical and Medical Aspects. Descriptive Note: Technical rept. Oct 88-May 89, Report Date: JUN 89 Army Research Inst Of Environmental Medicine Natick Ma. ADA212050

Legg S.J, Ramsey T och D. J. Knowles. The metabolic cost of backpack and shoulder load carriage. *Ergonomics*. 1992 Sep;35(9):1063-8

Legg, S.J. Influence of Body Armour on Pulmonary Function. *Ergonomics*. Year: 1988 Volume: 31 Issue: 3, Pages: 349-353



Lobuono, J. A. Modeling the Biodynamical Response of the Human Thorax With Body Armor From a Bullet Impact Descriptive Note: Master's thesis. Report Date: MAR 2001. ADA389863

Lotens, W. A. Selection of body armour for the Royal Dutch Army. 1. Functional characteristics. Report Institute for <perception, IZF 1981-17, 1981.

Mabry R. L, Holcomb J. B, Baker A. M, Cloonan C. C, Uhorchak J. M, Perkins D. E, Canfield A. J, och J. H. Hagmann. United States Army Rangers in Somalia: an analysis of combat casualties on an urban battlefield *J Trauma* 2000 Sep;49(3):515-28; discussion 528-9

Majumdar, D., Srivastava, K. K., Pukayastha, S. S., Pichan, G. Och W. Selvamurthy. Physiological Effects of Wearing Heavy Body Armour on Male Soldiers. *International Journal of Industrial Ergonomics* Year: 1997 Volume: 20 Issue: 2

Martin, J och R. Hooper. Military Load Carriage: A Novel Method of Interface Pressure Analysis Report Date: MAY 2001, p22-1/ 22-8, 27-29 Jun 2000. ADP011005

McGinnis, J. M. Some effects of body armor on motor performance. AD753937, 1972.

Missliwetz J. och I. Wieser. Gunshot wounds of the head in soldiers wearing military helmets—general aspects and experiments and observations on the biomechanics and wound Morphology. *Z Rechtsmed* 1989;102(1):41-54

Montain, S. J. och M. Stamm. Daily Water Requirements when Wearing Body Armor Descriptive Note: Technical note Apr-Nov 2000. Report Date: NOV 2000. ADA390182

Moynihan, T. J., Chou, S.-C och A. L. Mihalcin. Application of the Depth-of-Penetration Test Methodology to Characterize Ceramics for Personnel Protection Descriptive Note: Final rept. Jan 1998-Aug 1999 Report Date: APR 2000. ADA376698

Murin, E. L.; Bryant, J. T.; Reid, S. A.; Se, M. och R. A. Whiteside. Calibration Issues of Tekscan Systems for Human Pressure Assessment Report Date: MAY 2001. ADP011007

NIOSH. Criteria for a recommended standard-occupational exposure to hot environments. Revised Criteria, 1986.

Pandorf, C. E.; Harman, E. A.; Frykman, P. N.; Pattun, J. F. och R. P. Mello, Correlates of Load Carriage Performance Among Women. Report Date: MAY 2001. ADP010988

Pelot, R. P.; Rigby, A.; Stevenson, J. M. och J. T. Bryant. A Static Biomechanical Load Carriage Model Report Date: MAY 2001. p25-1/ 25-12, 27-29 Jun 2000. ADP011008

Polcyn, A. F.; Bense, C. K.; Harman, E. A.; Obusek, J. P. Och C. Pandorf. Effects of Weight Carried by Soldiers: Combined Analysis of Four Studies on Maximal Performance, Physiology, and Biomechanics Descriptive Note: Final rept. 1 May 2000-1 Sep 2001 Report Date: FEB 2002 Corporate Author: Army Natick Soldier Center Ma Supporting Science And Technology Directorate. ADA400722

Ramsey, J. D. Task performance in heat: A review. *Ergonomics*, 1995.

Sawka, M. N., M. M. Toner, R. P. Francesconi och K. B. Pandolf. Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender and environment. *Journal of Applied Physiology*, 55, 1983.

Sharma, V. M., K. Sridharan, G. Pichan och M. R. Panwar. Influence of heat-stress induced dehydration on mental functions. *Ergonomics*, 1986.

Tharion, W. J. och Obusek, J. P. Effects of a New Individual Fighting System on Marksmanship. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999 Volume: 25 Issue: 1

Townsend, S. J. The Factors of Soldier's Load. Descriptive Note: Master's thesis, Report Date: 03 JUN 94. ADA284389

Van de Linde, E. och W. A. Lotens. Handbook on clothing. Biomedical effects of military clothing and equipment systems. NATO, Bryssel, 1988.

Warren, P. H. och H. L. Dragsbaek. Expert system to lighten the soldier's load. Descriptive Note: CONFERENCE PAPER Report Date: 01 JUN 88. Supplementary Note: Paper Presented At The Second Natick Science Symposium, June 1-3, 1988 Held At U.S. Army Natick. ADD750325

Wilson, D R.; Eichler, M. J. och W. C. Hayes. Accuracy of the Iscan Pressure Measurement System. Report Date: MAY 2001 p23-1/23-4, Canada, 27-29 Jun 2000. ADP011006

Woods, R. J.; Polcyn, A. F.; O'Hearn, B. E.; Rosenstein, R. A. och C. K. Bensel. Analysis of the Effects of Body Armor and Load-Carrying Equipment on Soldiers' Movements. Part 1. Technique Comparisons Descriptive Note: Final rept. Feb-Dec 96. ADA332751

Woods, R. J.; Polcyn, A. F.; O'Hearn, B. E.; Rosenstein, R. A. och C. K. Bensel. Analysis of the Effects of Body Armor and Load-Carrying Equipment on Soldiers' Movements. Part 2. Armor Vest and Load-Carrying Equipment Assessment. Descriptive Note: Final rept. Feb-Dec 96. Report Date: NOV 1997. ADA332750

Woods, R. J.; Polcyn, A. F.; O'Hearn, B. E.; Rosenstein, R. A. och C. K. Bensel. Analysis of the Effects of Body Armor and Load-carrying Equipment on Soldiers' Movements. Part 3. Gait Analysis Descriptive Note: Final rept. Feb-Dec 96 Report Date: NOV 1997. ADA332749

Wyon, D. P. Studies of children under imposed noise and heat. *Ergonomics*, 1970.