



Evakuering av skadade med obemannade farkoster

Förstudie

JOUNI RANTAKOKKO, MARIANELA GARCÍA LOZANO,
GUSTAV TOLT, LINA THORS, ANDERS BUCHT

Jouni Rantakokko, Marianela García Lozano,
Gustav Tolt, Lina Thors, Anders Bucht

Evakuering av skadade med obemannade farkoster

Förstudie

Titel	Evakuering av skadade med obemannade farkoster – Förstudie
Title	Unmanned CASEVAC
Rapportnr/Report no	FOI-R--5288--SE
Månad/Month	Januari
Utgivningsår/Year	2022
Antal sidor/Pages	109
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	Försvarsmakten
Forskningsområde	Övrigt
FoT-område	Försvarsrelaterad medicin
Projektnr/Project no	E72820
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Sjukvårdstjänsten utgör en integrerad del av Försvarsmaktens samlade logistikfunktion. Det bakre medicinska omhändertagandet förutsätts ske genom en omfattande civil-militär samverkan och det finns ett stort behov av stöd från, och samverkan med, de civila delarna av totalförsvaret. När det gäller det främre medicinska omhändertagandet ansvarar de olika försvarsgrenarna för att lösa sina taktiska sjukvårds- och sjuktransportbehov. Både den bakre och främre sjuktransportförmågan är underdimensionerade. Sjuktransporter som genomförs med obemannade logistikfarkoster har potential att på ett kostnadseffektivt sätt förstärka sjuktransportkapaciteten. När obemannade farkoster börjar användas operativt för logistikuppdrag är det endast en tidsfråga innan dessa även används för att transportera skadade. För att detta ska kunna genomföras på ett säkert sätt behöver kunskap rörande riskerna med sådana transporter förbättras. Det finns under några år även möjlighet att påverka kravställningen av framtidens obemannade logistikfarkoster så att de kan genomföra sjuktransportuppdrag på ett säkrare sätt.

Rapporten analyserar och beskriver möjligheter och utmaningar med obemannade sjuktransporter i en svensk försvarsmaktskontext. Även möjligheterna med robotassisterad triage på skadeplatsen som stöd till sjukvårdsgruppens arbete beskrivs.

Denna förstudie har inte identifierat allvarliga tekniska, etiska eller juridiska hinder för att genomföra obemannade sjuktransporter med teleopererade farkoster förutsatt att den föregås av en relativ riskanalys som visar att en sådan transport är gynnsam för den skadade. Det juridiska regelverket behöver emellertid förändras för att möjliggöra sjuktransporter med autonoma farkoster och användning av avancerade automatiserade vårdssystem under transport. Även metodmässiga och organisatoriska utmaningar behöver adresseras.

Nyckelord: UAV, UGV, obemannad, autonom, sjuktransport, skadeevakuering, triage, robotassisterad, vitalparametrar

Summary

The military health care system is part of the logistics function. The medical service on the operational level depends heavily on a national civil-military collaboration and there is a need for support from, and cooperation with, the civil parts of the total defence system. On the tactical level, emergency care and evacuation capabilities are the responsibility of the individual branches of defence. The evacuation capacity is deemed insufficient today, both at the operational and tactical levels. Unmanned casualty evacuation vehicles have the potential to increase the casualty evacuation (CASEVAC) capacity in a cost efficient manner. When unmanned logistic vehicles enters service it is merely a matter of time before they are also being utilized to perform CASEVAC missions. Hence, it is critical to increase the body of knowledge regarding the risks associated with unmanned CASEVAC. Moreover, there is a window of opportunity to influence the requirements on future logistics platforms so that they become better suited to perform such missions.

This report analyzes and describes identified opportunities and challenges associated with the use of unmanned vehicles when performing CASEVAC in a Swedish military context. The possibilities with robot-assisted triage on the point of injury and casualty collection point as a means to support the combat medics and medical teams are also described.

No major technical, ethical or legal obstacles that prevents the use of unmanned CASEVAC with teleoperated vehicles have been identified during this work as long as a relative risk analysis has been performed that indicates that such a transport is beneficial for the injured soldier. Current legal regulations do not allow for the use of autonomous systems for CASEVAC or advanced en route care technologies. Furthermore, methodological and organizational challenges also need to be addressed to allow for efficient use of unmanned vehicles for CASEVAC.

Keywords: UAV, UGV, unmanned, autonomous, CASEVAC, MEDEVAC, triage, robot-assisted, vital parameters

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Rapportens syfte, struktur och avgränsningar	8
2	Bakgrund	11
2.1	Medicinsk logistik.....	11
2.2	Natodoktrin	12
2.3	Försvarmaktens sjukvårdssystem	15
3	Scenarion.....	23
3.1	Livräddning med UGV på skadeplats.....	23
3.2	UGV från skadeplats till kompanisamlingsplats	24
3.3	UGV från skadeplats till kompanisamlingsplats	26
3.4	UAV från kompani- eller bataljonssamlingsplats.....	27
3.5	CBRN-händelser.....	28
3.6	Höga hotnivåer	29
4	Obemannade farkoster.....	31
4.1	Exempel på internationell utveckling	31
4.2	UGV	32
4.3	UAV.....	36
4.4	Utvecklingen av anpassade nyttolaster för obemannade sjuktransporter	43
4.5	Automatiserad vård under transport.....	45
4.6	Diskussion	47
5	Robotassisterad triage på stridsfältet.....	49
5.1	Triage på stridsfältet	50
5.2	Estimering av vitalparametrar	54
5.3	CBRN-aspekter vid triage.....	56
5.4	Robotar som stöd vid triage	62
5.5	Estimering av vitalparametrar och triageindikatorer på distans	65
5.6	Möjligt koncept för robotassisterad triage	72
6	Etiska och juridiska frågeställningar.....	75
6.1	Medicinens etik	75

6.2	Juridiska aspekter	81
7	Obemannade sjuktransporter i en svensk sjukvårdskontext	83
7.1	Förslag på definitioner	83
7.2	Utmaningar	83
7.3	Gapanalys – teknik	89
8	Förslag till prioriterade FoU-projekt	91
8.1	Pågående projekt.....	91
8.2	Förslag till nya projekt.....	91
9	Slutsatser	95
	Referenser	97
	Appendix A.....	107
	Appendix B.....	109

1 Inledning

Totalförsvaret utformas och dimensioneras för att kunna möta ett väpnat angrepp mot Sverige, enskilt eller gemensamt med andra nationer [1,2]. Sjukvårdstjänsten utgör en integrerad del av Försvarsmaktens samlade logistikfunktion som i sin tur ska skapa den önskade uthålligheten hos Försvarsmaktens förband. Sjukvårdstjänsten, liksom all logistisk verksamhet, behöver kunna fungera över hela konfliktkedjan (fred, gråzonsscenario och krig).

Försvarsmaktens akuta omhändertagandeförmåga och sjuktransportförmåga var under ett par decennier primärt inriktad mot att kunna hantera internationella insatser med dess unika behov [3]. Varken Försvarsmaktens eller övriga totalförsvarets sjukvårdssystem är ännu dimensionerade för att hantera en storskalig krigssituation mot en högteknologisk motståndare givet de stora skadeutfall bland civila och militär personal, samt förändrade skadepanoraman, som kan förväntas [4,5].

En nationell förstärkning av sjukvårdsförmågan för kris och krig behöver utvecklas gemensamt med de civila aktörerna inom totalförsvaret [4]. Även ett utdraget gråzonsscenario med en långvarig höjd beredskap kan utgöra en belastning på sjukvården och skapa undanträngningseffekter när det gäller icke-traumarelaterad sjukvård [4]. En historisk beskrivning, analys och motivering av den svenska inriktningen för civil-militär samverkan ges i [7,8]. Den gemensamma planeringen och nyttjandet av hela totalförsvarets resurser anges vara nödvändig för att skapa de nödvändiga sjukvårds-, skadetransport- och sjukvårdsmaterielförsörjningsförmågorna [6, 4].

Försvarsmakten och Socialstyrelsen påbörjade 2015 utvecklingen av konceptet Totalförsvarets sjukvårdssystem (TFSS) [4]. Syftet var att ta fram ett underlag för hur samhällets behov av sjukvård vid katastrofer, stora olyckor och krig ska kunna mötas. Försvarsmaktens inriktning som beskrivs i TFSS baseras i stora delar på arbetet som genomfördes i studien *Målbild Logistik 2025* [9]. Implementeringen av TFSS kommer att påbörjas under den kommande femårsperioden [2].

Ett nytt logistikkoncept är under införande inom Försvarsmakten där den operativa chefen ansvarar för den bakre logistiken medan de olika försvarsgrenarna ansvarar för de försörjnings- och sjukvårdskedjor samt förband som ska sköta den främre (taktiska) logistiken. Logistikenheter (LogE) ska utgöra naven mellan den bakre och främre logistiken. Det bakre medicinska omhändertagandet förutsätts ske genom en omfattande civil-militär samverkan och det finns ett stort behov av stöd från, och samverkan med, de civila delarna av totalförsvaret när det gäller sjukvård, sjuktransporter och försörjning av sjukvårdsmateriel, blodprodukter och läkemedel. För det främre medicinska

omhändertagandet ansvarar istället de olika försvarsgrenarna för att lösa sina respektive taktiska sjukvårds- och sjuktransportbehov.

Obemannade farkoster kan stödja den framtida försvarsmedicinen på ett flertal olika sätt, såsom [3]:

- försörjning av medicinska förnödenheter, blod och blodprodukter
- utifrån UAV:ers spaningssensorer generera en lägesbild över skadeplatsen med information om egna och eventuella fientliga enheter, ge förslag till säkra framryckningsvägar och estimerar antal skadade och deras positioner
- robotassisterad triage på skadeplatsen, med fjärravläsning (eller överföring av data från kroppsburna sensorer) av kritiska vitalparametrar
- sjuktransporter.

På det framtida stridsfältet förväntas en del av den främre logistiken nyttja fjärrstyrda och autonoma obemannade farkoster. När obemannade farkoster väl har införts operativt som logistikfarkoster är det endast en tidsfråga innan dessa även används för att evakuera skadade [29]. En UGV kan exempelvis användas för att förflytta den skadade till skydd under en pågående stridssituation (eng. *casualty extraction*) vid strid i urban miljö, eller bära den skadade på bår från skadeplats till kompaniets skadeuppsamlingsplats så att en ensam soldat kan medfölja istället för fyra bårbärare. Alternativt kan en UAV användas för att förflytta skadade från kompanisamlingsplats till bataljonssamlingsplats i situationer där en förflyttning utan vård vid en riskanalys bedöms vara till gagn för den skadade.

Inriktningen är inte att obemannade farkoster ska ersätta medicinska sjuktransporter utan komplettera dessa, primärt genom att

- öka sjuktransportresurserna i masskadescenarion
- genomföra sjuktransporter efter kemiska, biologiska eller radiologiska attacker eller olyckor, eller transporter av patienter med smittsamma sjukdomar
- genomföra sjuktransporter i högriskscenarion där riskerna för personalen är oproportionerligt höga.

1.1 Rapportens syfte, struktur och avgränsningar

Föreliggande rapport utgör en formell leverans i projektet *Autonom CASEVAC*, som genomförs inom ramen för FoT-området Försvarsrelaterad medicin

(delområde militär akutsjukvård).¹ I rapporten beskrivs det arbete som genomförts inom ramen för projektets inledande fas (november 2020 till december 2021) som i huvudsak utgjordes av en förstudie där syftet var att: (i) utveckla definitioner av koncepten RASEVAC och Autonom CASEVAC, (ii) identifiera utmaningar för integration av autonom CASEVAC i en svensk sjukvårdskontext samt (iii) ta fram en långsiktig plan för fortsatt forskning och utveckling inom området.

1.1.1 Rapportstruktur

I kapitel 2 beskrivs Försvarsmaktens sjukvårdskoncept i stort. Kapitlet inleds med övergripande beskrivningar av Moshe Kress teorier för medicinsk logistik och Natos doktrin för medicinskt omhändertagande med fokus på evakuering av skadade. Därefter beskrivs Försvarsmaktens sjukvårdskoncept och dess främre och bakre nivå.

I kapitel 3 beskrivs sex möjliga användningsfall (mikrosценарion) där obemannade farkoster i framtiden skulle kunna användas för sjuktransporter. Det gäller framförallt vid stora skadeutfall, som kan förväntas vid en väpnad konflikt mot den dimensionerande motståndaren, vid CBRN-händelser eller i höga hotmiljöer (avreglingszoner).

Kapitel 4 ger en beskrivning av status när det gäller utvecklingen av obemannade farkoster som har potential att användas vid obemannade sjuktransporter. Fokus är på markgående och flygande obemannade farkoster. Behovet av att utveckla system som kan ge olika nivåer av automatiserad vård under transport diskuteras även.

I kapitel 5 beskrivs olika aspekter av robotassisterad triage. Fokus är på triage på skadeplatsen och kompanisamlingsplats samt det akuta omhändertagandet. De initiala resultaten från en inledande litteraturstudie rörande distansavläsning av vitalparametrar beskrivs, liksom ett möjligt koncept för hur robotassisterad triage skulle kunna stödja sjukvårdgruppen. Aspekter rörande triage vid CBRN-händelser diskuteras även.

Etiska och juridiska frågeställningar kopplade till obemannade sjuktransporter diskuteras i kapitel 6. Utmaningar med att genomföra obemannade sjuktransporter i en svensk sjukvårdskontext beskrivs i kapitel 7. En kort beskrivning av teknikutvecklingsbehov ges även.

¹ AT.9221025, Autonom CASEVAC FOI 20-21. Projektet har som långsiktigt mål att generera kunskap som möjliggör kravställning och anpassning av obemannade, teleopererade eller autonoma, farkoster så att de kan genomföra säkrare sjuktransporter. Ett kunskapsunderlag ska även utvecklas som underlag inför de relativa riskbedömningar som bör göras vid beslut om att genomföra sjuktransporter med obemannade farkoster.

Ett förslag till en *roadmap* för forskningsrelaterade aktiviteter ges i kapitel 8, kopplade till områdena: (i) obemannade sjuktransporter, (ii) robotar på skadeplatsen, (iii) automatiserade journalsystem och beslutsstöd för akut omhändertagande och (iv) automatiserade vårdssystem.

De viktigaste slutsatserna beskrivs i kapitel 9. I appendix A beskrivs de i rapporten vanligast använda förkortningarna och begreppen. I appendix B ges slutligen exempel på krav på obemannade sjuktransportfarkoster som förväntas öka säkerheten vid sjuktransporter.

1.1.2 Avgränsningar

Rapporten behandlar primärt soldater som skadas på slagfältet, ej daglig vård eller sjukdomsfall. Fokus är på det första akuta omhändertagandet och möjligheterna att genomföra obemannade sjuktransporter utan medicinsk personal ombord.

2 Bakgrund

Den militära sjukvårdstjänsten utgör en del av den samlade försvarslogistiken. Försvarsmaktens logistikkoncept delar in logistiken i operativ (bakre) respektive taktisk (främre) logistik. Den operativa logistiken sköts av dedikerade underhållsförband medan de olika försvarsgrenarna har ansvaret för den främre, taktiska logistiken.

2.1 Medicinsk logistik

I [10] beskrivs de olika delar som ingår inom logistikfunktionen där den medicinska dellogistikfunktionen ingår. Fokus är dock riktad mot den operativa nivån och logistikplaneringen snarare än den taktiska nivån. Effekterna av medicinsk logistik anges vara indirekta och sekundära i jämförelse med övriga logistikfunktioner, där ett snabbt omhändertagande och god sjuktransportförmåga har viktiga psykologiska effekter på soldaternas moral (och därmed stridsvärde) och en kognitiv påverkan på befälhavarna.

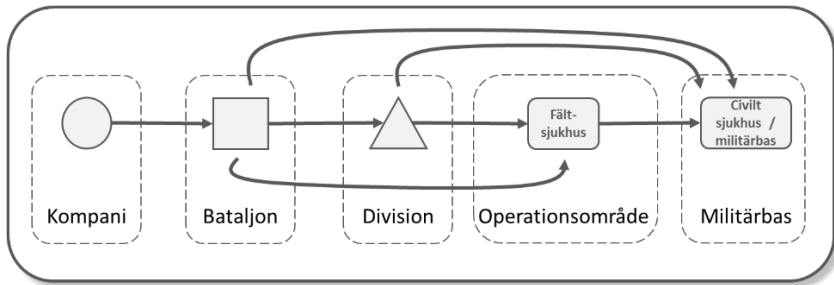
Den medicinska logistiken skiljer sig från de andra logistikdelfunktionerna genom att [10]:

- sjukvårdsmateriel, mediciner, antidoter och blodprodukter utgör förhållandevis små och lätta paket, men de är tidskritiska och har specifika hanteringskrav gällande exempelvis temperatur
- numerären vid skadeevakuering är jämförelsevis låg och i motsatt riktning mot andra logistiktransporter.

Den grundläggande principen inom militär sjukvårdstjänst (på taktisk nivå) är att ge ett akut omhändertagande i form av kvalificerad första hjälpen i syfte att stabilisera den skadade så att den skadade klarar transporten till en högre vårdnivå. Det finns en inneboende avvägning mellan hur avancerat omhändertagande som ska ges på slagfältet och hur snabbt evakueringen ska genomföras, där utvecklingstrenden de senaste årtiondena varit att förbättra förmågan till snabb evakuering. Ur ett militärt operationellt perspektiv handlar skadeevakuering även om att rensa slagfältet (eng. *clear the battlefield*) så att förbandet kan fortsätta utföra uppdraget på ett effektivt sätt. [10]

2.1.1 Den medicinska evakueringskedjan

Kress beskriver den medicinska logistikkedjan från kompani till militärbas, där varje högre vårdnivå även har en högre medicinsk förmåga (figur 2.1). Den skadade kan passera en eller flera nivåer under sin transport till ett fältsjukhus (inom operationsområdet) eller ett (ofta civilt) sjukhus. Riktlinjen som anges är att den skadade ska evakueras så långt bak i evakueringskedjan som möjligt. Vid



Figur 2.1: Illustration av Kress medicinska evakueringskedja, från kompanisamlingsplats till militärbas [10].

de olika vårdnivåerna är målet att ge tillräcklig vård för att stabilisera de skadade så att de klarar den fortsatta transporten. Hur transporten till sjukhuset genomförs, och antalet omlastningar, avgörs av bland annat avstånden och sjuktransportförmågorna på slagfältet (sjuktransportfarkosternas hastighet och kapacitet). Behovet av medicinsk förmåga på divisions- och operationsområdesnivå (fältsjukhus) beror på insatsens art där den i internationella insatser kan ersättas av taktisk och strategisk medicinsk sjuktransportförmåga med hög kapacitet och omhändertagandenivå (eng. *tactical/strategic medical evacuation*, MEDEVAC).

2.1.2 Den medicinska planeringens behov av information

I syfte att kunna genomföra en effektiv planering av den medicinska logistiken behövs information inom fyra områden [10]:

- *skadeutfallsbedömningar* i form av antal skadade och skadornas art, vilket avgör de medicinska resursbehoven
- *de egna enheternas grupperingar*, vilket påverkar behovet av sjuktransporter och medicinska noder
- *tillgängliga medicinska vårdresurser* vid olika enheter och förband, vilket ger underlag till bedömningar om behov av omfördelningar
- *tillgängliga (medicinska) sjuktransportresurser* där antal, typ och gruppering av dessa är avgörande för effektiviteten.

Ovanstående information är dock av känslig natur då det avslöjar egna enheters grupperingar, förmågor och delvis även stridsplaner, vilket försvårar skapandet av en gemensam lägesbild vid civil-militär samverkan.

2.2 Natodoktrin

I [11] beskrivs Natos doktrin för det medicinska omhändertagandet av skadade och sjuka (se även STANAG 2228). Den medicinska omhändertagandeförmågan på olika vårdnivåer (eng. *roles of care*) beskrivs enligt skalan Role 1 till Role 4

(figur 2.2). Role 2 delas även ofta upp som Role 2 *forward* (R2F), Role 2 *basic* (R2B) och Role 2 *enhanced* (R2E) [11].

2.2.1 Continuum of care

Omhändertagandet av skadade på slagfältet beskrivs i figur 2.2. Den organiseras enligt begreppet *continuum of care*², som påbörjas på skadeplatsen (eng. *point of injury*, PoI) med egenvård och kamrathjälp (eng. *self and buddy care*) varefter den skadade transporteras till skadeuppsamlingsplats (eng. *casualty collection point*, CCP³) eller närmaste vårdinrättning (eng. *medical treatment facility*, MTF). Egenvård och kamrathjälp innefattar allt medicinskt omhändertagande som utförs av icke-dedikerad medicinsk personal. All militär personal ska vara utbildad och kunna utföra akut omhändertagande under (eng. *care under fire*) och i anslutning till stridssituationer (eng. *tactical field care*), medan speciellt utbildad personal ska kunna utföra vad som kan benämnas som avancerat prehospitalt omhändertagande under längre tidsperioder i situationer där väntetiden för sjuktransporter är lång (eng. *advanced and prolonged field care*). Det första momentet i ett omhändertagande i en stridssituation kan vara att förflytta den skadade i skydd.⁴

Primär vård ges av (eller under överinseende av) legitimerad medicinsk personal såsom sjuksköterska eller läkare (eng. *primary health care*). Den innefattar triage och prehospital vård och kan omfatta akut omhändertagande av trauma och akuta blödningar genom DCR (eng. *damage control resuscitation*) som genomförs enligt ATLS (eng. *advanced trauma life support*). Sekundär vård (eng. *secondary health care*) kan genomföras från Role 2 upp till Role 4 och innefattar exempelvis DCS (eng. *damage control surgery*). För allvarligt skadade patienter är målet med den sekundära vården att förbereda dessa för strategisk MEDEVAC, medan den för mindre allvarliga skador syftar till att få den skadade att återgå i tjänst.

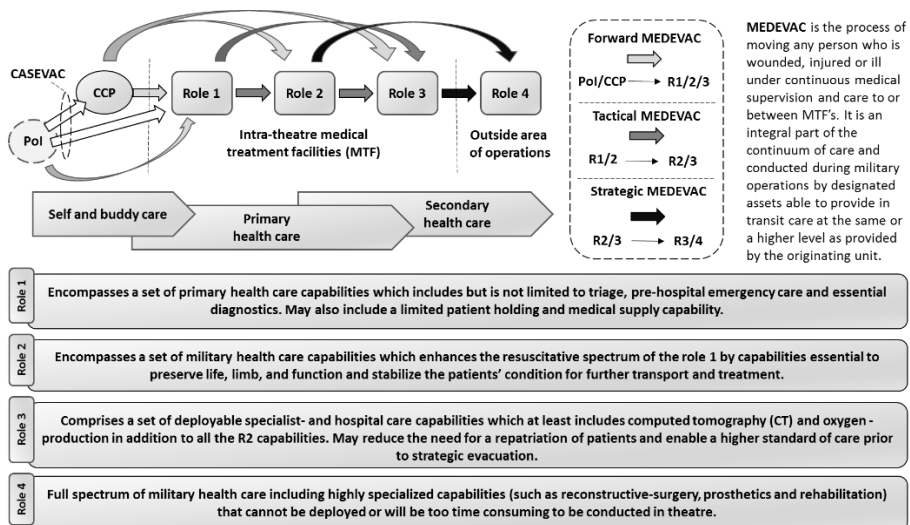
2.2.2 Tidsmål för omhändertagande

De senaste decenniernas erfarenheter från medicinskt omhändertagande av traumaskador i krig visar att tiden till omhändertagande är kritisk för den skadades möjligheter att överleva. Målsättningen är att den skadade inom tio minuter ska ha fått akut första hjälpen (inklusive kontroll av blödning och

² Försvarsmakten använder ibland ett liknande begrepp , ”obruten vårdkedja”, men eventuella skillnader i betydelsen är oklara.

³ Vid CCP ska uppenbara hot mot den skadades hälsa eller gentemot den medicinska personalen omhändertas (exempelvis CBRN-dekontaminering). Detta utgör inte enligt Natodoktrinen en del av det medicinska omhändertagandet utan kan utföras av icke-medicinsk personal som fått erforderlig utbildning för denna uppgift.

⁴ Benämns exempelvis inom US Army som *casualty extraction*.



Figur 2.2: Natos doktrin för den militära sjukvårdstjänsten anger olika vårdnivåer med ökande grad av medicinsk förmåga (Role 1 till Role 4) samt medicinsk sjukvårdstransportförmåga i form av främre, taktisk och strategisk MEDEVAC [11].

luftvägar), kvalificerat medicinskt omhändertagande (prehospital akutsjukvård) inom en timme efter skadetillfället och på en sjukvårdsenhet med kirurgisk kompetens⁵ inom två timmar [12,13]. Vidare anges att den skadade inom två timmar efter taktisk medicinsk evakuering ska kunna få ytterligare kirurgisk, diagnostisk och specialistvård i syfte att stabilisera denne inför en strategisk medicinsk evakuering. Den medicinska planeringen inför militära operationer ska ta hänsyn till ovanstående tidsangivelser, benämnda "10-1-2(+2)" [11].

2.2.3 Sjuktransporter

Sjuktransporter utgör en central komponent i omhändertagandet. De kan genomföras med eller utan vård under transporten (eng. *en route care*). En underdimensionerad främre sjukvårdsförmåga ger normalt ökade krav på kapacitet i sjuktransportförmågan.

2.2.3.1 CASEVAC

Evakuering av sårade, skadade eller sjuka utan medicinsk personal som övervakar den skadade benämns CASEVAC och den genomförs typiskt från skadeplats till skadeuppsamlingsplats eller till den lägsta vårdnivån (Role 1). Dessa transporter är normalt oplanerade förflyttningar av skadade och ska endast utföras om de kan ta den skadade till nästa länk i vårdkedjan innan en medicinsk

⁵ Eng. "life, limb and function preserving surgical and resuscitation procedures."

evakueringsenhet anländer, eller vid masskadefall som medför att sjukvårdsbehoven vida överstiger de medicinska transport- och vårdresurserna. CASEVAC är inte en medicinsk förmåga och utgör inte en del av den medicinska vårdkedjan. Genomförandet av en CASEVAC beslutas av befälhavaren lokalt. [11]

2.2.3.2 MEDEVAC

Transporter av skadade, sårade eller sjuka under militära operationer med kontinuerligt medicinskt omhändertagande benämns MEDEVAC. Principen är att så fort som möjligt transportera patienten till den mest lämpade vårdinrättningen (MTF), utifrån en medicinsk bedömning samt den taktiska situationen (avstånd, hotsituation, tillgängliga evakueringsresurser och deras förmåga till medicinskt omhändertagande, tillgängliga vårdplatser m.m.). Den medicinska evakueringsförmågan delas upp i främre, taktisk och strategisk MEDEVAC.

Främre MEDEVAC genomförs typiskt från (den första) skadeuppsamlingsplatsen eller direkt från skadeplats om den är säker. Dessa farkoster behöver ha motsvarande skyddsnivåer som de förband som opererar i området. Taktisk MEDEVAC utgör förflyttning av (medicinskt stabiliserade) patienter mellan olika MTF (från Role 1 eller Role 2 MTF). Vid taktisk MEDEVAC bör motsvarande vård kunna ges som vid den MTF som patienten transporteras ifrån. Strategisk MEDEVAC genomförs från en Role 2 eller Role 3 MTF till en Role 4 MTF utanför operationsområdet (typiskt i hemlandet). [11,14]

2.2.3.3 Ledning och koordinering

Ett effektivt sjuktransportsystem förutsätter tillgång till ett dedikerat ledningssystem med säkra kommunikations- och informationssystem. De medicinska sjuktransporterna inom operationsområdet leds och koordineras av en PECC (eng. *patient evacuation coordination cell*) som kan finnas på olika nivåer [14].

2.3 Försvarsmaktens sjukvårdssystem

En väl fungerande sjukvårdskedja anges bidra till en stärkt stridsmoral. Försvarsmaktens utvecklingsinriktning i perioden fram till 2025 är att sjukvårdstjänsten ska utvecklas och förstärkas för att möta dagens och morgondagens hotbilder. [2]

2.3.1 Försvarsmaktens strategiska inriktning (FMSI)

FMSI pekar bland annat på behovet av att:

- förstärka förmågan till akut omhändertagande och prehospital livräddande kirurgi

Tabell 2.1: Försvarsmaktens strategiska utvecklingsinriktning syftande till att utveckla och förstärka sjukvårds- och sjuktransportförmågan [2].

Planerad utveckling 2021 - 2025	Planerad utveckling 2026 - 2030
Försvarsgrenarna genomför utbildning av egen logistik- och försvarsmedicinförmåga samt fortsätter utvecklingen av logistikförband för främre nivån	Försvarsgrenarna fortsätter utbildning av logistik- och försvarsmedicinförmåga Logistikförband utvecklas på främre nivån i takt med respektive förbandstillväxt
En operativ logistikbataljon ska utvecklas och upprättas för att förstärka den bakre nivån och stödet till den främre nivån	En andra operativ logistikbataljon utvecklas och upprättas Utvecklingen av en tredje logistikbataljon påbörjas
För att öka möjligheten till kvalificerad sjukvård påbörjas utvecklingen av sjukhuskompanierna till fältsjukhus	Utvecklingen av två fältsjukhus slutförs och utgör en operativ resurs med omhändertagande- och sjuktransportförmåga
Implementeringen av konceptet Totalförsvarets sjukvårdssystem påbörjas	Materiel till fältsjukhusen omsätts och förstärks med ett civil-militärt ledningssystem
Samverkan med totalförsvaret utvecklas bland annat inom försvarmedicinfunktionen	Utvecklingen av samverkan med totalförsvarets olika aktörer fortsätter

- förstärka resurserna för skadeevakuering och sjuktransporter på taktisk nivå (på alla militära vårdnivåer)
- utveckla och införa förmågan till medicinsk evakuering på operativ nivå (sjukvårdstransporter mellan fältsjukhus och till civila sjukhus).

Implementeringen av konceptet Totalförsvarets sjukvårdssystem påbörjas i perioden fram till 2025 och samverkansformerna med de civila delarna av totalförsvarets sjukvård kommer att utvecklas. I perioden 2026 till 2030 anges vidare att två (rörliga) fältsjukhus med omhändertagande- och sjuktransportförmåga samt ett civil-militärt ledningssystem ska utvecklas [2]. I tabell 2.1 beskrivs inriktningen för hur sjukvårdstjänsten ska utvecklas fram till 2030.

2.3.2 Totalförsvarets sjukvårdssystem (TFSS)

Totalförsvarets sjukvårdssystem utgör ett koncept för den framtida sjukvården som innebär en omfattande civil-militär samordning av medicinsk utveckling, kompetensförsörjning, utbildning och resurser för omhändertagande och vård. Försvarsmaktens resurser ska enligt detta koncept inriktas mot att hantera stridsfältsnivån (den främre, taktiska nivån). Det militära sjukvårdssystemet ska även kunna agera som en buffert för den civila hälso- och sjukvården vid situationer med stora skadeutfall [9].

TFSS beskriver några viktiga aspekter av framtidens sjukvårdssystem som även tydliggör den omfattande civil-militära samverkan som planeras [4]:

- all sjukvård vid kris och krig ska bedrivas utifrån gemensamt framtagna vård- och prioriteringsprinciper
- skadade ska hänvisas till rätt vårdnivå direkt om tiden och tillgängliga transporter medger
- en nationell katastrofmedicinsk insatsförmåga ska skapas



Figur 2.3: Omhändertagande av skadade vid masskadescenario under övningen Meteor 2017 (foto: Joel Cedergren, Försvarsmakten).

- den planerade civil-militära samverkan förutsätter gemensam strategisk planering, skapandet av en gemensam lägesbild och ett gemensamt sjukvårdsledningssystem
- ett enhetligt system för läkemedelsförsörjning, som inkluderar Försvarsmaktens behov, ska utvecklas för att hantera normalläge, kriser, höjd beredskap och krig.

Den katastrofmedicinska insatsförmågan ska kunna nyttja både nationella militära och civila resurser och förstärka hälso- och sjukvården regionalt vid stora skadeutfall. Den ska kunna sättas in i fredstid, i gråzon och vid krigssituationer [4]. Vid masskadeutfall där civila aktörer såsom polis, ambulans och räddningstjänst tillsammans med militär personal deltar i omhändertagandet, se figur 2.3, kommer gemensamma och förankrade katastrofmedicinska vård- och prioriteringsprinciper sannolikt leda till ett förbättrat omhändertagande.

Fyra områden som bör utvecklas för att öka förmågan att hantera masskadescenarion i den civila hälso- och sjukvården anges vara [6]: gemensam triagemetod, prehospitala livräddande interventioner på skadeplats (primärt hantering av katastrofal blödning medelst tourniquet och blödningsstoppande mediciner), förbättrad kunskap om traumaskador som typiskt förekommer vid masskadesituationer och träning i beslutsfattande i katastroflägen med de specifika etiska överväganden som då uppstår.

2.3.3 Principer för omhändertagande

Försvarmakten använder sig av motsvarande vårdnivåer som de som används inom Nato (Role 1 till Role 4) [3]. Grunden för det akuta omhändertagandet på skadeplatsen och under transport till första vårdnivån utgörs av egenvård, kamrathjälp och stridssjukvårdare (benämns ibland även för Role 0).

Vid allvarliga skador och sjukdomstillstånd utgör tiden till omhändertagande en kritisk faktor som kraftigt påverkar patientens möjligheter att överleva och Försvarmakten utgår från det dimensionerande tidskravet ”10-1-2” vid omhändertagandet av traumaskadade och akuta sjukdomstillstånd [12,3]. Inriktningen är att de lägre vårdnivåerna ska kunna administrera en tillräcklig vård för att möjliggöra transport till högre vårdnivåer. Försvarmakten arbetar efter ett liknande koncept som används inom Nato (*continuum of care*), med en obruten vårdkedja när det gäller vård under transport.

2.3.4 Högkvalitativ vård och ett höglödessystem

Försvarmaktens ambition är att dess sjukvårdssystem ska möjliggöra en högkvalitativ vård i fred, kris och vid internationella insatser där civila sjukvårdens normala vårdprinciper appliceras. Vid katastrofsituationer och krig, med masskadeutfall där vårdbehovet vida överstiger sjukvårds- och/eller sjuktransportresurserna, ska dock Försvarmaktens sjukvårdssystem kunna ändra inriktning och applicera katastrofmedicinska behandlingsprinciper för att istället utgöra ett effektivt höglödessystem där ett stort antal skadade med allvarliga multitraumaskador ska kunna omhändertas på bästa möjliga sätt givet de begränsade resurserna [9]. Vid stora skadeutfall på en kort tid riskerar även belastningen på den civila sjukvården att bli övermäktig och ett av motiven för utvecklingen av fältsjukhus är att skapa en buffert mot det civila sjukvårdssystemet. Alla skadade som behövt militär (skadekontrollerande) kirurgisk vård kommer dock i slutändan att behöva opereras igen på ett civilt sjukhus.

2.3.5 Gemensamma prioriteringar vid katastrofer och krig

För att underlätta införandet av ett höglödessystem finns ett behov att utveckla gemensamma prioriterings- och vårdprinciper för katastrofsituationer och krig som kan appliceras inom hela totalförsvarets sjukvårdssystem [4]. Krig och gråzonsscenarion förväntas även leda till ett ökat sjukvårdsbehov, vilket kan leda till allvarliga undanträngningseffekter där dessa vårdprinciper behövs för att förtydliga vilken vård som ska prioriteras och vilka förväntningar allmänheten kan ha på sjukvården [4]. Regeringen har gett Socialstyrelsen i uppdrag att leda arbetet med att utveckla en definition för katastrofmedicinsk beredskap och prioritetsprinciper för katastrofmedicinska vårdinsatser.

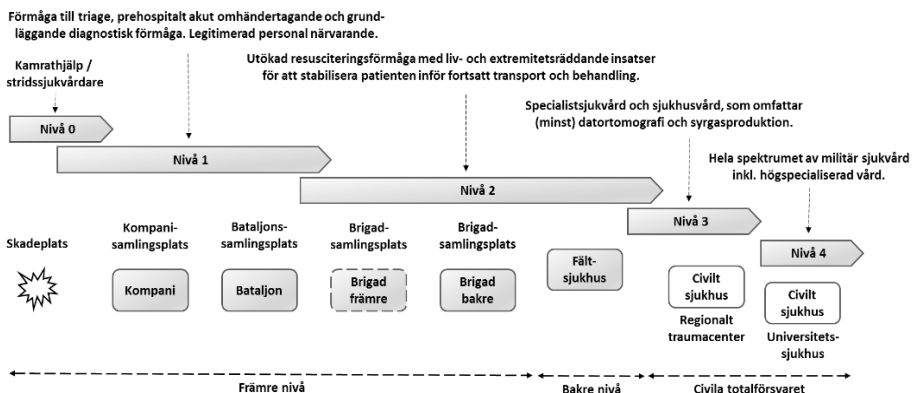
2.3.6 Främre (taktisk) nivå

Försvargrenarna har ansvaret för det främre medicinska omhändertagandet medan den bakre nivån (omhändertagande på fältsjukhus och skadetransporter till fältsjukhus och civila sjukhus) kommer att genomföras av operativa logistikförband. I krigssituationer kommer Försvarmakten att behöva genomföra det första omhändertagandet av skadade på stridsfältsnivå [9]. Det gäller egna skadade, men Försvarmakten har även en skyldighet att omhänderta skadade civila, krigsfångar och fiendesoldater. Den främre försvarsmedicinförmågan ska utvecklas i takt med de olika försvargrenarnas tillväxt av förband [2].

Principerna för Försvarmaktens sjukvårdskoncept sammanfattas i figur 2.4. Terminologin är anpassade till markstridskrafternas främre nivå men sjukvårdskonceptet är generellt och kan användas även för andra typer av förband. Konceptet är även skalbart, där planerade och verkliga skadeutfall styr på vilka nivåer, och antalet, samlingsplatser för skadade som upprättas.

Vårdkedjan för skadade inom markstridskrafterna illustreras i figur 2.4. Det första akuta omhändertagandet av traumaskadade genomförs i form av kamrathjälp eller stridssjukvårdare på eller i närheten av *skadeplatsen*. Beroende på förväntat eller verkligt skadeutfall kan sedan kompaniets sjukvårdsgrupp upprätta en *kompanisamlingsplats* för skadade där triage, akut omhändertagande, daglig vård och medicinsk evakuering kan utföras. Detta utgör den första nivån i den medicinska vårdkedjan, där en sjuksköterska ansvarar för vården som utförs av kompaniets sjukvårdsgrupp.

Nästa vårdnivå utgörs av en *bataljonssamlingsplats*, som har en läkare som ansvarar för triage, akut omhändertagande och även daglig vård och vård av lättare skadade och sjuka. Bataljonens sjuktransportgrupp har möjlighet att ge vård under transport.



Figur 2.4: Principerna för omhändertagandekedjan för skadade inom Försvarmaktens sjukvårdssystem, från skadeplats till civilt sjukhus.

Brigadens sjukvårdsgrupp kan vid behov skapa en främre och bakre brigadsamlingsplats där den *främre brigadsamlingsplatsen* (om den upprättas) syftar till att ge möjlighet att föra fram resurser för kirurgisk förmåga som kan stabilisera den skadade inför vidare transport. Vid den *bakre brigadsamlingsplatsen* finns brigadens (och hela divisionens) mest avancerade stabiliserande kirurgiska förmåga, intensivvårdsmöjligheter och transportkirurgi. Den bakre brigadsamlingsplatsen utgör även sjukkvarter för brigadens lättare skadade och sjuka patienter som sannolikt kan återgå till respektive förband inom en vecka. På divisionsnivå finns sjuktransportresurser i form av ett sjuktransportkompani men inga ytterligare vårdresurser.

Ambitionen är att sjuktransporterna ska planeras och genomföras så att ”rätt patient hamnar på rätt vårdnivå i rätt tid” [3]. Antalet omlastningar ska minimeras och patienterna kan om sjukvårds- och sjuktransportresurserna, det taktiska läget, avstånd, patientens tillstånd och andra faktorer så medger transporteras direkt till en högre vårdnivå. Transporter sker på så sätt efter samma principer som inom Nato och enligt Kress [10,11]. Förflyttning av den skadade till kompaniets samlingsplats genomförs normalt utan medicinsk personal ombord (CASEVAC). Kompaniets sjukvårdsgrupp ombesörjer transporter (motsvarande främre MEDEVAC) från kompanisamlingsplats till bataljonssamlingsplats (eller högre nivå), men de kan även hämta skadade vid eller i närheten av skadeplatsen och transportera denne till kompanisamlingsplatsen. De använder typiskt splitterskyddade fordon. Bataljonens sjuktransportgrupp genomför transporter (motsvarande taktisk MEDEVAC) från kompani- eller bataljonssamlingsplats till brigadsamlingsplatser, eller direkt till fältsjukhus eller civila sjukhus om behov och möjlighet finns.

Brigadunderhållsbataljonens sjuktransportkompani ska kunna genomföra transporter mellan brigadens samlingsplatser. Divisionens sjuktransportkompani kommer normalt att ansvara för transporter till fältsjukhus, sjukkvarter i militärbas och civila sjukhus (bakre hänvisning). De ska även vid behov kunna stödja det civila samhället med transporter mellan civila sjukhus.

CASEVAC genomförs typiskt från skadeplats till kompanisamlingsplats i situationer då medicinska sjuktransportresurser inte finns tillgängliga. I scenarion med stora skadeutfall och multitraumaskador är det även troligt att kompaniets transportresurser inte kommer att kunna tillgodose behovet av transporter från kompanisamlingsplats till bataljonssamlingsplats för att medicinsk evakuering med legitimerad sjukvårdspersonal ska hinna påbörjas inom en timme [3]. CASEVAC kan då komma att användas för att snabbt förflytta skadade till en högre vårdnivå. Även andra studier pekar på att sjuktransportresurserna är underdimensionerade [15,16].

2.3.7 Det akuta omhändertagandet (LC-ABCDE)

Det militärmedicinska omhändertagandet av skadade och sjuka ska i grundläget bedrivas enligt den civila sjukvårdens normala riktlinjer och målsättningar [4]. I situationer med stora skadeutfall där de medicinska resurserna är otillräckliga är avsikten istället att militärsjukvården ska ha möjlighet att övergå till katastrofmedicinska omhändertagandeprinciper för att möjliggöra ett höglödessystem.

Den militära sjukvårdskedjan varierar delvis mellan de olika försvarsgrenarna utifrån deras olika förutsättningar. Typiskt för markstridskrafterna är att det första akuta omhändertagandet (kvalificerad första hjälpen) genomförs i form av kamrathjälp eller av gruppens stridssjukvårdare. Om ett yttre hot föreligger (livsfarligt läge) förflyttas den skadade så fort det är möjligt, utan att riskera att fler soldater skadas, först till ett säkert område där initial triage och livräddande insatser (eng. *life-saving interventions*) kan genomföras under någorlunda säkra förhållanden.

Omhändertagandet vid militära traumaskador genomförs i ett flertal västländer enligt BATLS (eng. *battlefield advanced trauma life support*). BATLS genomförs enligt principen <C>ABC (eng. *catastrophic haemorrhage – airway – breathing – circulation*), där det första steget är att upptäcka och stoppa katastrofala blödningar. Det görs genom att applicera tourniquet vid livshotande extremitetsskador eller blödningssvettande farmaka (alternativt hemostatiska förband) för skador på exempelvis bröst, bål eller ljumske. Därefter undersöks och säkerställs att luftvägarna är fria. I nästa steg utvärderas om den skadade kan andas. Slutligen utvärderas den skadades blodcirkulation. Syftet med det initiala omhändertagandet på skadeplatsen är att förbereda den skadade för transport och även få ett underlag för prioriteringar av skadade inför omhändertagande och transport. Därefter transporteras den skadade till kompanisamlingsplats för skadade där en ny triage genomförs.

Försvarsmakten använder sig av utvalda delar av TCCC (eng. *tactical combat casualty care*) [17]. På taktisk nivå använder de sig vid triage och akut omhändertagande av behandlingsprincipen (L)C-ABC(DE). C-ABC motsvarar i stora drag BATLS, medan de två sista bokstäverna innebär bedömningar av den skadades neurologi (eng. *disability*) och exponering mot exempelvis kyla och väta (eng. *exposure*). De genomförs när tid och möjlighet finns. Först av allt, innan triage eller behandling påbörjas, ska dock en bedömning av säkerhetssituationen på skadeplatsen göras (motsvarande livsfarligt läge) där hot mot de skadade och sjukvårdspersonalens säkerhet identifieras. Vid behov flyttas den skadade till en säkrare plats.

När kompaniets sjukvårdsgrupp anländer till skadeplatsen genomför de skadeplatsinventering och prioritering och därefter påbörjas behandling med målet att den skadade ska klara transporten till nästa vårdnivå. Vid skadeplatsinventeringen skapar sig sjukvårdsgruppen en lägesbild och under detta skede kan även livsfarligt läge och katastrofala blödningar hanteras.

Vid masskadeutfall där katastrofmedicinska omhändertagandeprinciper behöver appliceras, utifrån målet att så många som möjligt ska överleva vid masskadeutfall där behovet vida överstiger de medicinska resurserna, prioriteras de skadade som kan överleva en transport till nästa vårdnivå. De skadade som efter att kvalificerad första hjälpen genomförts inte bedöms ha goda möjligheter att överleva transporten ges istället palliativ behandling. [9]

2.3.8 Bakre (operativ) nivå

Huvuddelen av de mer kvalificerade vårdbehoven kommer fortsatt att behöva hanteras av den civila sjukvården, då vård på nivå 3 och 4 även fortsättningsvis ska hanteras av den civila sjukvården. Det ställer avsevärda krav på en operativ sjuktransportförmåga och förmåga att skapa en gemensam civil-militär lägesbild samt genomföra ledning av sjuktransportresurserna.

Den bakre logistiknivån behöver utvecklas för att kunna möta hotet från en högteknologisk motståndare, där den bakre (operativa) medicinska logistiken med sina egna resurser ska stödja den främre nivån med kvalificerat omhändertagande och transporter av sjuka och skadade [2]. Vissa viktiga komponenter saknas idag, såsom operativ sjuktransportförmåga för medicinska transporter av patienter från omlastningsplatser till fältsjukhus och civila sjukhus samt mellan (fält-)sjukhus, samtidigt som andra delar behöver vidareutvecklas (bland annat utveckling av de två sjukhuskompanierna till rörliga fältsjukhus med omhändertagandenivå motsvarande Role 2E [11]). Dessa behövs för att skapa en nödvändig militär medicinsk förmåga och skapa en buffert gentemot den civila sjukvården. I perioden fram till 2030 är Försvarsmaktens inriktning att två operativa logistikbataljoner ska ha upprättats och en tredje vara under utveckling [2]. Den civil-militära samverkan är kritisk för att skapa en effektiv bakre medicinsk logistik och den bör ske inom militärregionernas försorg.

3 Scenarion

I detta kapitel beskrivs sex mikrosценarion (användningsexempel) där obemannade farkoster i framtiden skulle kunna användas för sjuktransporter. Det gäller framförallt vid stora skadeutfall, som kan förväntas vid en väpnad konflikt mot den dimensionerande motståndaren, och vid CBRN-händelser.

De mikrosценarion som beskrivs är primärt beskrivna utifrån markstridsförband, men de kan vara relevanta även för hemvärnsbataljoner och flygvapnets basskyddsförband. Exempel på marina scenarion beskrevs inom ramen för Natogruppens arbete och avrapporterades i [3].

3.1 Livräddning med UGV på skadeplats

Detta mikrosценario handlar om att förflytta en skadad, som inte själv kan ta sig i skydd, från ett livsfarligt läge till skydd under en pågående eldstrid (figur 3.1).

3.1.1 Exempel

En grupp soldater (typförbandsexempel lätt skytte) är utrustad med en medeltung logistik-UGV (typ MILREM THeMIS) som medföljer gruppen. Gruppen genomför strid i bebyggelse. Gruppen förflyttar sig omgångsvis över en gata under beskjutning och en soldat blir träffad av finkalibrig eld. Den skadade ligger öppet utan skydd på gatan och kan inte själv förflytta sig i skydd.



Figur 3.1: En skadad dras i skydd vid risk för indirekt eld under övningen Sydfront 21 (foto: Joel Thungren, Försvarmakten).

UGV:n som är utrustad med en bärkorg och den kör fram till den skadade och placerar sig så att den skyddar denne från fientlig finkalibrig beskjutning. UGV:n faller ned botten på korgen och tar med en robotarm tag i uniformskragen och drar personen upp i korgen, varefter den faller upp korgen och kör den skadade till skydd bakom en husvägg. Där kan stridssjukvårdaren ge ett första akut omhändertagande.

3.1.2 Fördelar

Följande fördelar bedöms kunna uppnås:

- Den skadade kan förflyttas i skydd utan att riskera att ytterligare soldater skadas.
- Den skadade kan snabbare förflyttas till en säker plats, vilket medför att risken för ytterligare skador reduceras och att den skadade kan få vård snabbare (medan eldstriden fortsatt pågår).

3.1.3 Teknikens möjligheter och begränsningar

Detta koncept förutsätter att gruppen (eller att den eventuellt är en plutonsresurs) har en UGV med sig då tiden för att kalla in en sådan resurs och förflytta den till gruppens position sannolikt är för lång i de flesta scenarion.

Förmågan att få upp en skadad soldat i en bärkorg bedöms kunna lösas i relativ närtid. Kostnaden för en sådan robotarm är dock oklar och den kan bli kostnadsdrivande, vilket medför att andra lösningar kan behöva undersökas.

UGV:n kan fjärrstyras alternativt så kan den inom något år autonomt hämta den skadade, givet att positionen för den skadade är känd.

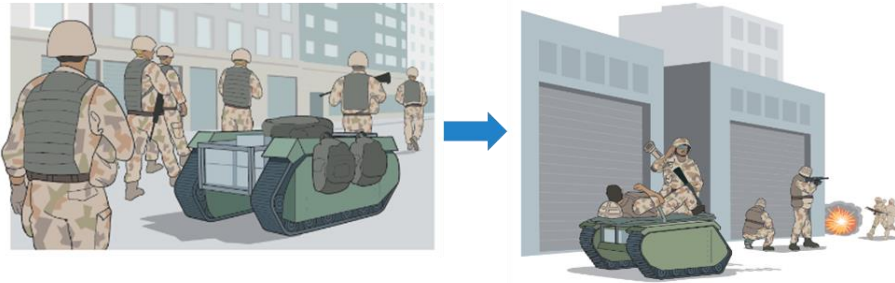
Det är önskvärt att UGV:n utrustas med skydd mot finkalibrig eld och splitter då den förväntas kunna utsättas för eldgivning. Detta kan även ge den skadade skydd under transporten.

3.2 UGV från skadeplats till kompanisamlingsplats

I detta mikrosenario transporteras den skadade med en UGV från skadeplats till kompanisamlingsplatsen (figur 3.2).

3.2.1 Exempel

Samma enhet som i exemplet ovan. Den skadade soldaten behöver snabbt förflyttas till kompanisamlingsplatsen för vidare vård och sjuktransport. Soldaten placeras, efter att stridssjukvårdaren genomfört omhändertagande enligt C-ABCDE, i framstupa sidoläge på en bår på UGV:n.



Figur 3.2: En logistik-UGV bär gruppens utrustning under förflyttning och ger möjlighet att ladda elektronisk utrustning och batterier. Om en soldat blir skadad monteras en bår och en CASEVAC genomförs till kompanisamlingsplats med UGV:n (illustrationer: Martin Ek).

En soldat medföljer under transporten sittandes i bärkorgen. UGV:n har ett visst skydd mot finkalibrig eld och splitter. UGV:n kör i en hastighet av upp till 20 km/h från skadeplatsen till kompanisamlingsplatsen. Detta alternativ används istället för att flera soldater avdelas för att bära den skadade på bår till skadesamlingsplatsen (figur 3.3).

3.2.2 Fördelar

Följande fördelar bedöms kunna uppnås:

- Den skadade kan snabbare transporteras till kompanisamlingsplats och snabbare få vård och fortsatt sjuktransport till högre vårdnivåer.
- Färre soldater behöver avdelas för att förflytta den skadade och de kan istället fortsätta striden.
- Den skadade har ett visst skydd mot finkalibrig eld och splitter under transport.
- Flera skadade kan förflyttas samtidigt vid större skadeutfall.

3.2.3 Teknikens möjligheter och begränsningar

Flera olika alternativ för styrning av UGV är möjliga, exempelvis av soldat som medföljer på UGV eller att UGV följer en soldat som går eller springer framför. UGV:n har även möjlighet att automatiskt förflytta sig till kompanisamlingsplatsen om terrängen är känd eller om den tidigare kört samma rutt.

Ett alternativ är att använda mindre UGV:er som mer liknar en bår på hjul. Dessa har dock en relativt dålig framkomlighet och låg hastighet och är snarare lämpade för transport, exempelvis från R1/R2 vårdenheter till helikopterupphämtningsplats i närheten.



Figur 3.3: Soldater bär en skadad på bår under första världskriget nära Boesinghe (augusti 2017). Beroende på terräng, väder, taktiskt läge och avstånd kan en hel grupp behöva allokeras för denna uppgift (foto: John Warwick Brooke, Imperial War Museum, public domain, via wikipedia⁶).

Troligen finns behov av stötdämpning (upphängningssystem eller för bårar) för att minska vibrationer vid terrängkörning. Alternativt måste hastighet och rutt anpassas.

Det är önskvärt att UGV:n utrustas med skydd mot finkalibrig eld och splitter då den förväntas kunna utsättas för eldgivning. Detta kan även ge den skadade skydd under transporten.

3.3 UGV från skadeplats till kompanisamlingsplats

En UGV kan även utföra sjuktransporter mellan kompani- och bataljonssamlingsplatserna i syfte att öka kapaciteten vid stora skadeutfall.

3.3.1 Exempel

Kompaniets sjukvårdsgrupp utrustas inför stridsscenario där stora skadeutfall kan befaras med en (eller flera) UGV:er som har förmågan att automatiskt följa sjukvårdsgruppens fordon (konvoj). UGV:n kan exempelvis utgöras av en

⁶ commons.wikimedia.org/wiki/File:Stretcher_bearers_Passchendaele_August_1917.jpg

Rheinmetall Mission Master SP eller ett större konverterat splitterskyddat fordon. Vid stora skadeutfall kan en sjukvårdsgrupp transportera fler skadade och på så sätt öka kapaciteten i sjuktransporterna. De som transporteras på UGV:n får dock ingen vård under transport vilket medför att sjuksköterskan i sjukvårdsgruppen behöver prioritera vilka skadade som transporteras med vilken transport. Efter att ha kört sträckan en gång kan UGV:n automatiskt köra samma rutt och hämta skadade.

3.3.2 Fördelar

Följande fördelar bedöms kunna uppnås:

- Ökad kapacitet för sjuktransporter mellan kompaniets och bataljonens skadesamlingsplatser vid stora skadeutfall, vilket medför att skadade snabbare når nästa vårdnivå.
- Färre soldater behöver tas i anspråk för sjuktransport, en sjukvårdsgrupp kan transportera större antal skadade (dock med lägre vårdnivå under transport).

3.3.3 Teknikens möjligheter och begränsningar

Teknik finns för att konvertera (vissa) bemannade fordon så att de kan köra autonomt. Förmågan att följa ett annat fordon automatiskt är i det närmaste färdigutvecklad och fungerar i de flesta terränger och ljusförhållanden.

Skydd mot splitter och finkalibrig eld är önskvärd. Förmåga att ge (en viss nivå av) vård under transport är önskvärd.

3.4 UAV från kompani- eller bataljonssamlingsplats

I detta mikrosenario har flera av plutonerna i en mekaniserad bataljon utsatts för kraftig långgräckviddig precisionsbekämpning, vilket resulterat i ett masskadeutfall. Befintlig vård- och sjuktransportförmåga är otillräcklig. UAV används för att öka kapaciteten till sjuktransporter.

3.4.1 Exempel

Bataljonen har UAV:er för främre logistik och sjuktransporter, exempelvis DP-14 för transport av en ensam skadad eller Cormorant för transport av två skadade (där även medicinsk personal kan medfölja). Alternativt kan även äldre helikoptrar som konverterats till att kunna flyga autonomt användas, vilket ger möjlighet att flytta ett större antal skadade. UAV:erna används för att genomföra sjuktransporter från kompani- eller bataljonsamlingsplatser (R1) till högre vårdnivåer (R2-R2F), eller direkt till civil hänvisning (R3-R4). De används som

komplement till de bemannade sjuktransporterna när antalet skadade överstiger sjukvårds- och transportresurserna.

3.4.2 Fördelar

Följande fördelar bedöms kunna uppnås:

- UAV flyger i högre hastighet än UGV eller ambulans, framförallt i terräng, vilket medger längre förflyttningar eller snabbare sjuktransport.
- Enklare och billigare sjuktransport än dedikerad MEDEVAC helikopter (avancerad multirollshelikopter), vilket möjliggör större kapacitet och tillgänglighet i sjuktransportresurserna.

3.4.3 Teknikens möjligheter och begränsningar

Tekniken för att flyga autonomt är relativt mogen. AACUS-projektet har demonstrerat möjligheterna med att konvertera helikoptrar till autonom flygning. De kan exempelvis själva skanna av terrängen och välja lämpliga landningsplatser. Möjligtvis behöver förmågan att upptäcka och väja för hinder och andra farkoster förbättras vidare.

Dagens UAV:er är typiskt fjärrstyrda, men det beror i första hand på regelverk snarare än begränsningar i tekniken. Även regelverken för persontransporter med UAV behöver sannolikt utvecklas.

3.5 CBRN-händelser

Ett mekaniserat kompani utsätts för C-kontaminering i samband med en stridssituation där flera egna fordon bekämpas, vilket leder till ett stort antal skadade med kombinationsskador (traumaskador och C-kontaminering).

3.5.1 Exempel

Kompaniets sjukvårdsgrupp genomför triage och akut omhändertagande i det kontaminerade området och transporterar därefter en del av de skadade med fältambulans till saneringsplats utanför det drabbade området. Kvarvarande skadade har behov av att snabbt få vård. Inga bemannade sjuktransporter avdelas dock för att transportera resterande skadade på grund av risken för kontaminering. UAV:er avdelas istället från bataljonens logistikenhet för att genomföra sjuktransporter, från kompanisamlingsplats innanför det kontaminerade området till saneringsplats där bemannad sjuktransport väntar för vidare transport efter genomförd sanering.

3.5.2 Fördelar

Följande fördelar bedöms kunna uppnås:

- Minimerar risk för att sjukvårdspersonal eller helikopterbesättning kontamineras.
- Användning av UAV ger snabbare evakuering av skadade, vilket beroende på typ av kemiska ämnen är av stor vikt.

3.5.3 Teknikens möjligheter och begränsningar

Se avsnitt 3.4.3.

3.6 Höga hotnivåer

Sjuktransport från en avreglingszon (eng. *anti-access/area-denial*, A2/AD) med integrerade luftvärnssystem och fientligt luftherravälde.

3.6.1 Exempel

Specialförband bedriver spaning mot fientliga enheter i en ockuperad hamnstad. En soldat blir allvarligt skadad vid en eldstrid och behöver kvalificerad vård för att överleva. Soldaten stabiliseras inför transport av en stridssjukvårdare. Närmaste egen vårdenhet befinner sig på stort avstånd (5-10 mil), vilket medför att luftburen evakuering är nödvändig för att den skadade ska kunna få vård inom en rimlig tid. På grund av den höga hotnivån kan inte bemannade MEDEVAC-helikoptrar skickas för att transportera den skadade. En mindre UAV skickas istället för att extrahera den skadade. Den har en lägre akustisk, termisk och radarsignatur och kan flyga lågt (under trädtops- och takhöjd) för att minska risken för upptäckt. Den kan även landa på en mindre öppen yta än en helikopter.

3.6.2 Fördelar

Följande fördelar bedöms kunna uppnås:

- Elimineras risken för att sjukvårdspersonal dödas under MEDEVAC.
- Möjliggör större risktagning (framförallt under inflygningsfasen).

3.6.3 Teknikens möjligheter och begränsningar

Tekniken rörande UAV:er har en hög mognadsgrad. Mindre UAV:er som kan bära en ensam skadad soldat har dock vissa utvecklingsbehov, exempelvis när det gäller att utveckla säkra flygfarkoster som kan verifieras, valideras och certifieras. För att möjliggöra flygning i höga hastigheter på mycket låga höjder krävs fortsatt utveckling. Detta är framförallt en utmaning i mörker och i situationer då endast passiva sensorer får användas.

4 Obemannade farkoster

Det pågår en intensiv utveckling internationellt av obemannade flygande, markgående, yt- och undervattensfarkoster. Obemannade logistikfarkoster utgör en av de förmågor som utvecklas och intresset för området ökar internationellt. Möjligheterna att använda obemannade farkoster för sjuktransporter diskuteras framför allt i Storbritannien ([18-20]) och USA ([21-23]). Exempel på den tekniska utvecklingen av dedikerade obemannade farkoster för sjuktransporter ges i bland annat [24-26]. I [3] beskrivs den generella utvecklingen av obemannade farkoster som har potentialen att användas för obemannade sjuktransporter. I detta kapitel ges en sammanfattning och uppdatering av status för flygande och markgående obemannade farkoster.

Marina scenarion diskuterades i [3]. Obemannade ytfarkoster har stor potential för många tillämpningar, inklusive logistik tack vare deras långa uthålligheter och höga hastigheter [27]. Även obemannade undervattensfarkoster kan komma att utföra logistikuppdrag, men de låga hastigheterna begränsar deras användbarhet för att utföra sjuktransporter [3].

Logistiktillämpningar är ett av de användningsområden som ställer lägst krav på autonoma funktioner hos den obemannade farkosten. Teleopererade system där en operatör styr farkosten kan utföra detta i de flesta scenarion, men det förutsätter ett tillförlitligt realtidskommunikationssystem vilket utgör en utmaning att realisera i telestörda miljöer. I syfte att reducera kostnaderna är det även önskvärt att möjliggöra att en operatör samtidigt kan leda flera obemannade farkoster genom att övervaka dessa och endast ta över styrningen av en enskild farkost om behovet uppstår.

4.1 Exempel på internationell utveckling

Internationellt utvärderas bland annat inom Natogruppen HFM RTG-332 (*Development and Implementation of Autonomous Transport and Medical Systems for Casualty Evacuation*) möjligheterna att i masskadescenarion förstärka sjuktransportresurserna genom att använda obemannade farkoster, framförallt i form av obemannade flygande farkoster (eng. *unmanned aerial vehicle*, UAV) och markgående farkoster (eng. *unmanned ground vehicle*, UGV). En transport av en skadad ombord på en obemannad logistikfarkost utan tillgång till medicinskt utbildad personal utgör en typ av CASEVAC (eng. *casualty evacuation*). Fokus i Natogruppens arbete är riktat mot CASEVAC som genomförs med obemannade farkoster som förväntas utgöra en integrerad del av den ordinarie uppsättningen av logistikfarkoster.

Framförallt USA och Storbritannien har genomfört betydande forskningsprogram såsom JTAARS (eng. *joint tactical autonomous aerial resupply system*) och

CAAR (eng. *coalition assured autonomous resupply*).^{7,8} Storbritannien genomför nu *Project Theseus* där målet är att definiera och leverera ett högautomatiserat logistiksystem med markgående och flygande farkoster. Som en del av detta arbete genomförs JTARR (eng. *joint tactical autonomous resupply and replenishment*) där potentialen med existerande autonoma farkoster utvärderas. Arbetet leds av Dstl (eng. *Defence Science and Technology Laboratory*).⁹

I Europa utvecklas även UGV:er i bland annat Estland (MILREM THeMIS) och Tyskland (Rheinmetall Mission Master) där logistik och CASEVAC utgör prioriterade användningsområden. Forskning och utveckling genomförs även inom ramen för EU-finansierade projekt såsom inom EDIDP (eng. *European Defence Industrial Development Program*)¹⁰ och inom EDF (eng. *European Defence Fund*).

4.2 UGV

De senaste fem åren har ett flertal UGV:er utvecklats där främre logistik utgör ett av de prioriterade användningsområdena. Ett flertal länder genomför en omfattande experimentering och metodutveckling i syfte att förstå teknikens möjligheter och identifiera de begränsningar som fortfarande finns och behöver adresseras.

4.2.1 Plattformsutvecklingen

Ett flertal medeltunga UGV:er har under de senaste åren använts vid enklare demonstrationer av möjligheten att genomföra CASEVAC för att förflytta den skadade bort från skadeplatsen. Den speciella nyttolast som används är en bår som monteras på UGV:erna. Sju exempel på medeltunga UGV:er som bland annat är anpassade för främre logistiktillämpningar är (se figur 4.1):

- MILREM THeMIS¹¹
- Horiba Mira VIKING¹²
- Rheinmetall Mission Master (MM) SP och XP¹³
- HIPPO Raptor¹⁴

⁷ www.army.mil/article/219887/jtaars_concept_presented_to_industry/

⁸ www.gov.uk/government/news/coalition-autonomous-systems-the-future-of-military-logistics/

⁹ www.gov.uk/government/news/dstl-showcases-autonomous-future-for-army-logistics/

¹⁰ euro-sd.com/2020/12/articles/exclusive/20319/imugs-contract/

¹¹ milremrobotics.com/defence/

¹² www.horiba-mira.com/unmanned-ground-vehicles/media-centre/case_study/viking-multirole-ugv-platform/

¹³ www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/systems_and_products/unbemannte_fahrzeuge/mission_master/index.php

¹⁴ hippomultipower.com/wp-content/uploads/2021/08/HIPPO-RAPTOR_A4_2021-07-27_DSEI.pdf

- Elbit ROOK¹⁵
- General Dynamics Land Systems Multi-Utility Tactical Transport (MUTT)¹⁶

UGV:erna är multirolls farkoster där nyttolaster utvecklats för exempelvis spaning, övervakning, bekämpning, strömförsörjning av elektronik, telekrig, CBRN-detektion, logistik och CASEVAC. De drivs typiskt av hybrida framdrivningssystem som kombinerar dieseldrift med elektrisk drift under begränsade tidsperioder (vilket ger en låg akustisk och termisk signatur).



Figur 4.1: Exempel på multirolls-UGV:er som bland annat är avsedda för främre logistik och CASEVAC. MILREM THeMIS (ö.v.) och HIPPO-X (ö.h) under den brittiska övningen AWE18 (foto: FOI). Rheinmetall Mission Master SP (n.v.) vid utställningen Eurosatory 2018 (foto: Angela Blattner, Rheinmetall Defence, CC BY-SA 4.0, via wikipedia¹⁷). GDLS MUTT (n.h.) under försök som genomfördes av US Army inom ramen för Squad-Multipurpose Equipment Transport (SMET) programmet (foto: US Army, public domain¹⁸).

¹⁵ elbitsystems.com/pr-new/elbit-systems-and-roboteam-introduce-rook-new-multi-payload-6x6-unmanned-ground-vehicle/

¹⁶ www.gdls.com/products/tracked-combat/MUTT.html

¹⁷ commons.wikimedia.org/wiki/File:Mission_Master_UGV.jpg

¹⁸ api.army.mil/e2/c/images/2018/06/06/519957/original.jpg

Tabell 4.1: Nominell prestanda (hastighet, uthållighet, räckvidd, vikt och hur mycket nyttolast som kan bäras) för utvalda UGV:er.

Modell	Hastighet [km/h]	Uthållighet [timmar]	Räckvidd [km]	Nyttolast [kg]	Vikt [kg]
THeMIS	20	15	-	750	1 630
VIKING	50	-	200	750	2 000
MM SP	30	8	180	600	1 100
MM XP	-	6 (eldrift)	750	1 000	2 217
Raptor	35	20 (eldrift)	150	1 000	1 700
Rook	30	8	-	1 200	1 200
NATRIX	20	2 (eldrift)	-	150	70

Majoriteten av ovanstående UGV:er är hjuldrivna med sex till åtta hjul, förutom THeMIS som är banddriven för att få en förbättrad framkomlighet i terräng. Även Mission Master XP är specifikt utvecklad för en god framkomlighet genom att dess fyra hjul är kraftigt överdimensionerade. Vissa av UGV:erna kan även framföras i vatten i låga hastigheter. Vid autonom körning i terräng är hastigheterna typiskt begränsade till mellan 20 och 30 km/h och de kan bära nyttolaster på mellan 600 och 1200 kg. En sammanställning av prestanda för utvalda UGV:er ges i tabell 4.1.

Det finns även exempel på mindre experimentella UGV:er som demonstrerats kunna förflytta en skadad, såsom SCR Braza NATRIX och ISK STAMINA Aurochs. De kan bära en skadad på en enkel bår, men deras uthållighet och framförallt framkomlighet i terräng är avsevärt begränsad i jämförelse med de större UGV:erna. De kan eventuellt vara användbara i vissa scenarion, exempelvis i stadsmiljö eller för kortare förflyttningar från vårdenhet till upphämningsplats för sjuktransporter.

I [28] beskrivs även utvecklingen av autonomikit (s.k. *appliqué kits*) bestående av sensorer, effektorer och mjukvara som möjliggör att ett stort antal fordon kan konverteras till autonoma eller teleopererade fordon. Vid övningen AWE18 förevisades exempelvis ett brittiskt stridsfordon (Warrior) som konverterats och kördes teleopererad.¹⁹ Detta öppnar för möjligheten att exempelvis konvertera äldre splitterskyddade fordon och köra dessa obemannat i konvoj (eng. *platooning*) efter en fältambulans. Denna teknik bedöms vara relativt mogen.

4.2.2 Utvecklingen av autonoma funktioner

Det pågår en snabb utveckling av självkörande funktionalitet för obemannade markgående farkoster inom den civila domänen. Det militära scenariot är dock avsevärt mycket mer utmanande än det civila då farkosterna behöver förflytta sig i ostrukturerade, okända miljöer, i terräng och under svåra väderförhållanden. I [28] beskrivs den troliga utvecklingen av denna autonoma funktion, där

¹⁹ www.youtube.com/watch?v=qTppwF-WM1U

exempelvis svåra vinterförhållanden anges utgöra en stor utmaning som inte kommer att lösas förrän tidigast om 15 till 20 år.

Flera av dagens medeltunga UGV:er, exempelvis TheMIS, MUTT och Mission Master, anges av tillverkarna ha autonoma funktioner implementerade som medger att de kan förflytta sig autonomt mellan angivna brytpunkter och även upptäcka och väja för hinder. Detta kan även göras i terräng men endast i begränsade hastigheter (typiskt omkring 20 km/h). De anges även autonomt kunna följa en soldat som går före UGV:n. De kan även fjärrstyras med en enkel handkontroll av en soldat som går bredvid eller bakom farkosten eller via teleoperation på distans (figur 4.2). [28]

Vid fjärrstyrning finns även möjlighet att implementera säkerhetsfunktioner som exempelvis förhindrar att UGV:n välter, vilket kan vara av stor betydelse framförallt vid körning i mörker. Erfarenheterna visar att det är svårt för en operatör att få en god förståelse av situationen vid UGV:n vid teleoperation medelst video, vilket är en försvårande faktor i stridsituationer men som i logistiktillämpningar inte har samma betydelse. Det finns dock ett behov av vidareutvecklade autonoma funktioner som möjliggör högre hastigheter, körning i svår terräng och som kan anpassa sig till den taktiska situationen [28].



Figur 4.2: Exempel på olika tekniker för att styra en UGV: fjärrstyrning på nära håll med enkel handkontroll, brytpunktsnavigering med möjlighet att upptäcka och väja för hinder och följ-mig funktion (illustration: Martin Ek).

4.3 UAV

Över hundra länder använder UAV:er för militära uppgifter, framför allt för uppdrag som spaning, övervakning och målinmätning, bekämpning, telekrig och kommunikationsrelä. Ett flertal länder utvecklar nu även UAV:er för logistikuppdrag. Ur ett tekniskt perspektiv kan teleopererade UAV:er redan användas för logistikuppdrag. Den amerikanska marinkåren använde obemannade transporthelikoptrar (Kaman K-1200 K-MAX) framgångsrikt i Afghanistan redan för tio år sedan.²⁰ De flög delvis autonomt utifrån brytpunkter och uppdrag som en operatör kunde uppdatera via satellitkommunikation. Den var dock inte anpassad för operationer i telestörda miljöer, bland annat på grund av att den var beroende av GPS-mottagare för sin navigering. Marinkåren pausade utvecklingen under ett antal år men har nu återtagit denna utveckling med en uppdaterad version K-MAX TITAN.²¹ Även den amerikanska marinens UAV *MQ-8B Fire Scout* används för transporter av förnödenheter från fartyg till marinkårsförband som opererar på land.²²

Transporter av soldater med UAV:er är ingen ny idé utan detta genomfördes i mindre omfattning redan under Vietnamkriget. US Navy införde på 1960-talet en fartygsburen VTOL (eng. *vertical take-off and landing*) UAV på över 200 jagare avsedd för ubåtsjakt med torpeder eller mindre kärnvapenbestyckade sjunkbomber, benämnd QH-50 DASH (eng. *drone anti-submarine helicopter*), se figur 4.3.²³ Olika versioner utvecklades under andra halvan av 1960-talet, bland annat en version avsedd för räddningsuppdrag för att hämta hem nedskjutna piloter [29]. Beskrivningar finns även av att de hämtat åtminstone en specialförbandssoldat som under ett uppdrag blev separerad från sin enhet.²⁴

Exempel på typer av UAV:er som i framtiden skulle kunna användas för medicinsk logistik och sjuktransporter visas i figur 4.4 och en jämförelse av nominell prestanda för utvalda UAV:er ges i tabell 4.2.

4.3.1 Dedikerade MEDEVAC UAV:er

Det israeliska företaget Tactical Robotics (som är en del av Urban Aeronautics) utvecklar en UAV som är dedikerad för sjuktransporter och logistik. Cormorant har interna rotoror (s.k. *duct fan*) och är liten i förhållande till sin bärförmåga (maximalt 760 kg inklusive bränsle). Den kan bära 500 kg nyttolast på avstånd av 200 km. Den har lägre akustisk, termisk och radarsignatur än helikoptrar.

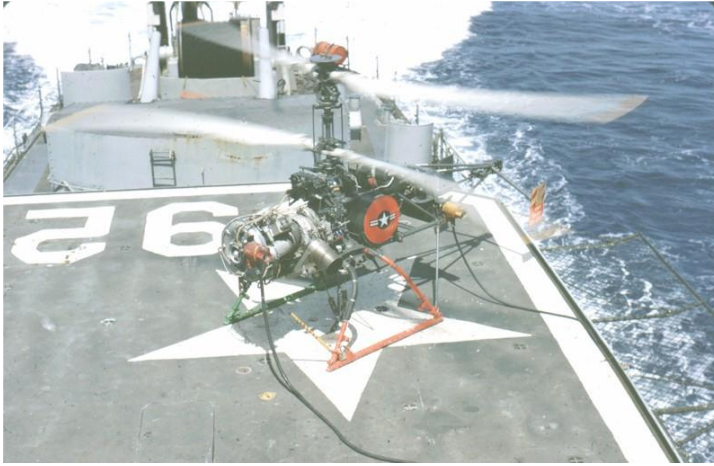
²⁰ www.wired.com/2014/07/kmax-autonomous-helicopter/amp

²¹ www.kaman.com/kaman-announces-first-flight-of-unmanned-k-max-titan/

²² en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_MQ-8_Fire_Scout

²³ www.aero.psu.edu/Facilities/images/36_DASH_QH-50.pdf

²⁴ www.airspacemag.com/military-aviation/dash-goes-to-war-23369442/



Figur 4.3: QH-50 DASH VTOL UAV ombord på jagaren USS Allen M. Sumner utanför Vietnam våren 1967 (foto: Eric Bollin, US Navy, public domain, via wikipedia²⁵).

Demonstrationer på en nivå som motsvarar TRL 5 (eng. *technical readiness level*) genomförs regelbundet i Israel och Cormorant anges kunna vara operationell inom fem år.²⁶

4.3.2 Optionellt bemannade helikoptrar

Tre helt eller delvis militärt finansierade utvecklingsprojekt har genomförts eller pågår i USA, där autonomikit (sensorer och algoritmer) utvecklas för att konvertera helikoptrar så att de även kan flygas autonomt: (i) K-MAX, (ii) AACUS (eng. *Autonomous Aerial Cargo/Utility System*) och (iii) ALIAS (eng. *Aircrew Labor In-Cockpit Automation System*). US Army har exempelvis 2200 Black Hawk helikoptrar och genom att konvertera äldre helikoptrar såsom UH-60A till optionellt bemannade system är förhoppningen att de ska kunna fortsätta användas (livstidsförlängas) för att utföra exempelvis autonom logistik i högriskområden då acceptansen för att förlora dessa är avsevärt högre än för bemannade transporter. Dessa autonomikit kan även öka säkerheten vid bemannade flygningar, framförallt under svåra siktförhållanden.

US Army undersöker tillsammans med DARPA (eng. *Defense Advanced Research Project Agency*) möjligheterna att konvertera äldre UH-60A Black Hawk så att de kan framföras autonomt för exempelvis logistikuppdrag. I november 2021 genomfördes demonstrationer av autonom logistikförsörjning och autonom landning på oförberedda landningsområden. Scenariot var ett mindre förband som var fast bakom fiendens linjer och behövde påfyllning av

²⁵ en.wikipedia.org/wiki/Gyrodyne_QH-50_DASH#/media/File:QH-50_DD-692_1967.jpg

²⁶ www.tactical-robotics.com/category/cormorant



Figur 4.4: DP-14 UAV med möjlighet att transportera en skadad, januari 2017 (foto: US Army Acquisition Support Center, public domain, via wikimedia commons²⁷). Tidig version av Cormorant UAV, juli 2020 (foto: Rafi Yoeli, CC BY-SA 4.0, via wikipedia²⁸). Amerikanska marinkårens två obemannade K-MAX helikoptrar vid Yuma, Arizona, maj 2016 (foto: Pfc George Melendes, USMC, public domain²⁹). En MQ-8C ombord på USS Coronado (LCS-4), juni 2018 (foto: US Navy, public domain³⁰). VoloCity eVTOL vid utställningen IAA, september 2019 (foto: Alexander Migl, CC BY-SA 4.0, via wikimedia commons³¹).

²⁷ commons.wikimedia.org/wiki/File:DP-14_MEDEVAC_UAV.jpg

²⁸ commons.wikimedia.org/wiki/File:4X-UYM_Tactical_Robotics_a.jpg

²⁹ www.marines.mil/Photos/igphoto/2001534591/

³⁰ news.usni.org/2019/07/09/navy-declares-unmanned-mq-8c-fire-scout-helicopter-mission-capable

³¹ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mercedes-Benz_Volocity_at_IAA_2019_IMG_0510.jpg?uselang=de

Tabell 4.2: Nominell prestanda för utvalda UAV:er.

	Modell	Längd [m]	Bredd [m]	Vikt [kg]	Nyttolast [kg]	Hastighet [km/h]	Räckvidd [km]	Flygtid [timmar]
Militär	Cormorant	7,5	3,5	977	760	180	650	2,6
	MQ-8C	12,6	7	1450	227	260	2270	12
	UH-60A	19,8	16,4	5675	1200	294	590	-
	K-MAX ³²	15,8	16	2334	>2720	185	425	2,5
Civila	DP-14 ³³	4,1	4	226	195	195	130	2,4
	LOCUST ³⁴	-	2,9	147	140	176	-	5
	TW II ⁴¹	6,5	6,5	230	300	112*	-	3
	VoloCity ³⁵	11,3	11,3	700	200	110	35	
	Blackfly ³⁶	4	4,1	156	91	129*	64	-

förnödenheter. En Black Hawk helikopter var utrustad med DARPA:s autonomikit ALIAS och två mindre UAV:er (Area-I Altius-600) som genomförde spaning och övervakning av markmål och skapade en lägesbild för de egna enheterna.^{37,38}

Office of Naval Research har tillsammans med företaget Aurora Flight Sciences utvecklat autonomikit för helikoptrar inom projektet AACUS. Det långsiktiga målet har varit att utveckla autonoma logistiksystem för amerikanska marinkårsförband och liknande demonstrationer som med Black Hawk genomfördes redan 2017.^{39,40} AACUS autonomikit har bland annat installerats på en äldre UH-1H Huey helikopter.

Helikoptrar har en överlägsen räckvidd och lastförmåga jämfört med andra VTOL logistik-UAV:er som är under utveckling. UH-60A anges exempelvis kunna bära 1200 kg internt och över 4 ton externt. Obemannade helikoptrar kan transportera ett flertal skadade samtidigt, även liggandes på bår. Tekniken för autonom flygning (autonom start och landning, val av lämplig landningsplats, val av rutt och upptäckt och väjning för stationära hinder) är relativt mogen men regelverken tillåter inte detta i nuläget. Det är oklart hur väl de kan upptäcka och väja för rörliga föremål som fågelflockar och mindre UAV:er. Även förmågan till navigering i telestödda miljöer under dåliga siktförhållanden är oklar, men

³² en.wikipedia.org/wiki/Kaman_K-MAX

³³ www.dragonflypictures.com/products/dp-14-multi-mission-uas/

³⁴ acc-group.se/products-air-drones

³⁵ volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/20190819_VoloCity_Specs.pdf

³⁶ opener.aero/

³⁷ areai.com/altius-600-2/

³⁸ https://www.flightglobal.com/helicopters/us-army-teams-autonomous-black-hawk-with-drones-in-air-assault-experiments/146286.article

³⁹ www.youtube.com/watch?v=SQcVK7awgFw

⁴⁰ www.onr.navy.mil/en/Media-Center/Press-Releases/2017/2017-AACUS

robusta navigeringssystem för denna typ av större farkost som kan operera i de flesta scenarion bedöms finnas tillgänglig inom fem år.

Kaman Aerospace och Lockheed-Martin utvecklade den första optionellt bemannade helikoptern, K-MAX, som användes operativt för logistikuppdrag av den amerikanska marinkåren i Afghanistan under perioden 2011-2014, där de genomförde drygt 1900 uppdrag och levererade mer än två tusen ton förnödenheter. Marinkåren har nyligen beslutat att uppgradera sina två K-MAX (CQ-24A) med ny avionik och autonom mjukvara från Near Earth Autonomi.⁴¹ En demonstration av obemannad CASEVAC genomfördes i mars 2015, där en docka spändes fast i ett utfällbart säte som monterats på utsidan av helikoptern.⁴²

4.3.3 MQ-8C Fire Scout

MQ-8C Fire Scout är en UAV där 38 exemplar nu förs in operativt på amerikanska flottans LCS (eng. *Littoral Combat Ship*) [27]. Flygkroppen är baserad på en Bell 407, som är en väl beprövad kommersiell helikopter. MQ-8C kan starta och landa autonomt från fartyg och land (även oförberedda landningsområden). Den är primärt avsedd för långsträckt målinmätning samt spaning och övervakning, men har potential att användas i flera olika typer av uppdrag.⁴³ Den ersätter den mindre MQ-8B som använts operativt av amerikanska marinen sedan 2009.

4.3.4 Civil utveckling

Ett flertal företag utvecklar elektriska eVTOL UAV:er avsedda för persontransporter i framförallt urbana miljöer. Det finns även exempel på utvecklingen av mindre UAV:er som är avsedda för transporter och som skulle kunna modifieras för CASEVAC-uppdrag. Det pågår även några potentiellt intressanta projekt inom den civila sfären rörande obemannade flygande ambulanser, som kan komma att påverka den militära sjuktransportförmågan på längre sikt.

4.3.4.1 DP-14 Hawk

DP-14 är en amerikansk UAV som kan utföra bland annat logistikuppdrag. Den kan flygas via brytpunktsnavigering eller teleopererad. Den anges kunna flyga i vindbyar på 20 m/s och är utprovad för temperaturer mellan -12 och +50 grader Celsius. Den har två rotorblad och en flygkropp med plats för en soldat. US Army TATRC använder DP-14 vid demonstrationer av möjligheterna att

⁴¹ seapowermagazine.org/flight-testing-soon-for-upgraded-marine-corps-k-max-uas/

⁴² www.airmedandrescue.com/latest/news/unmanned-k-max-performs-first-casevac

⁴³ www.youtube.com/watch?v=7jNFL4efoBo

transportera medicinska förnödenheter och utföra CASEVAC med UAV.⁴⁴ Tillstånd och certifiering för att flyga med människor ombord saknas däremot, vilket innebär att flygningar genomförs med dockor.

4.3.4.2 Locust

Locust är en inhemskt utvecklad prototyp som med sina två rotoror har vissa likheter med DP-14 Hawk. Den är något mindre men har potential att lyfta motsvarande en skadad soldat med utrustning. Den tekniska mognadsgraden för denna prototyp är dock oklar för närvarande, men den är teleopererad.

4.3.4.3 Civila eVTOL

Ett flertal elektriska VTOL UAV:er, avsedda för persontransporter i stadsmiljöer, är under utveckling internationellt. De har korta räckvidder på typiskt 30 till 60 km och kan transportera en till två personer. Två exempel är VoloCity och Blackfly.

VoloCity utvecklas av det tyska företaget Volocopter. Den har totalt 18 rotoror i två olika stora cirklar. Det stora antalet rotoror ger en låg akustisk signatur och redundans. VoloCopter har av EASA nyligen erhållit ett s.k. *Production Organization Approval*, vilket utgör ett steg i utvecklingen mot att nå en certifierad flygfarkost. Ett av de första användningsområdena är som en flygande taxi som kan bära två passagerare.

Blackfly är en eVTOL UAV som utvecklas av det amerikanska företaget OPENER. Den har totalt åtta rotoror, varav fyra på en vertikal bom längst fram och fyra på en liknande bom längst bak. Blackfly är enklare lättviktsfarkost i jämförelse med exempelvis VoloCity.

4.3.4.4 Cormorant CityHawk

Det israeliska företaget Urban Aeronautics har nyligen sålt fyra Cormorant CityHawk VTOL farkoster till Hatzolah Air, som är en icke-vinstdrivande organisation som genomför ambulanstransporter med flygplan i New York. I USA genomförs drygt en halv miljon flygande ambulanstransporter årligen så, marknaden för denna typ av tjänster är betydande. I denna version kommer en pilot att flyga CityHawk och utöver patienten kan även en medföljande person, två ambulanssjuksköterskor och utrustning få plats i kabinen då den är drygt 20% större än den i en traditionell sjuktransporthelikopter. CityHawk har trots det stora interna utrymmet en liten fysisk storlek och kan flyga och landa på platser där en vanlig helikopter är för stor. Det kommer dock sannolikt ta några år innan erforderliga tillstånd har erhållits och dessa farkoster kan börja genomföra skarpa

⁴⁴ www.tatrc.org/www/divisions/medras/news/archive/2020-q1-misl-dp14-test-flight.pdf

uppdrag i stadsmiljöer.⁴⁵ Detta utgör ett intressant steg mot att på sikt även möjliggöra obemannade flygande ambulanser. Kostnaden för ambulanstransporter kan vara mycket hög i USA och kostnaderna täcks ofta inte helt av sjukförsäkringarna.

4.3.4.5 Urban Air Mibility (UAM)

När Uber introducerades i större städer i USA minskade användningen av ambulanser med i genomsnitt 7 %.⁴⁶ Uber och ett flertal andra aktörer utvecklar flygande obemannade elektriska (eVTOL) UAV:er för persontransporter i framförallt urbana miljöer där trafikköer kan ge långa transporttider även för korta resor. När sådana tjänster införs är det troligt att även dessa kommer att användas som en ersättare för ambulanstransporter, framförallt vid mindre allvarliga sjukdomstillstånd. Volocopter driver på utvecklingen av eVTOL där VoloCity är avsedd för passagerartransporter och den mindre VoloDrone utvecklas för logistiktillämpningar. VoloCity har sexton separata elmotorer och rotor, vilket ger en hög robusthet och en låg akustisk signatur. Den har en angiven räckvidd på 35-65 km och den kan bära 200 kg.⁴⁷

4.3.4.6 Ambular

ICAO (eng. *International Civil Aviation Organization*) grundade 2018 den (icke-vinstdrivande) organisationen *Ambular*. Målet är att utveckla en kostnadseffektiv prototyp av en modulär eVTOL UAV som är avsedd för medicinska sjuktransporter i städer. Den ska kunna bära en ambulanssjuksköterska och en patient och flyga i upp till 100 km/h med en räckvidd på åtminstone 25 km. Projektet avser inte själva utveckla en produkt, utan projektet baseras istället på utvecklingen av öppen källkod och design (och prototyp) av UAV där förhoppningen är att industri därefter ska använda och anpassa delar av projektets resultat och erfarenheter för att realisera en obemannad, fjärrstyrd eller autonom eVTOL-ambulans.⁴⁸

Arbetet initierades först internt inom ICAO under 2017 då olika koncept för framtidens flygfarkoster utvecklades med stöd av Charles Bombardier på tankesmedjan Imaginative. Frivilliga på ICAO började därefter arbeta vidare för att försöka realisera ett av koncepten, vilket därefter ledde till skapandet av projektet *Ambular*.⁴⁹

⁴⁵ www.singularityhub.com/2021/01/08/these-futuristic-flying-ambulances-may-soon-be-zooming-around-new-york/?amp=1

⁴⁶ www.cnbc.com/amp/2017/12/15/when-uber-comes-to-town-fewer-people-take-ambulance-rides.html

⁴⁷ www.volocopter.com

⁴⁸ www.evtol.news/ambular-20

⁴⁹ www.ambular.org/about-us

Det intressanta med projektet är dess bakgrund och deltagandet från personal på ICAO, vilket garanterar en god kunskap om behovet av och möjligheterna för att ändra regelverk. En obemannad flygande ambulans liknande *Ambular* kommer dock sannolikt inte att realiseras och tas i aktiv drift under detta decennium.

4.3.4.7 Konceptförslag

Åtvidabergsföretaget ACC Innovation har tillsammans med studenter från Luleå Tekniska Universitet tagit fram ett konceptförslag för en ambulansmodul som skulle kunna bäras av den UAV (ThunderWasp II) som de utvecklar [30].⁵⁰ Det finns dock betydande tekniska, men framförallt regulatoriska, utmaningar som behöver lösas innan ett sådant UAV-baserat ambulanskoncept kan realiseras.

4.4 Utvecklingen av anpassade nyttolaster för obemannade sjuktransporter

Utvecklingen av nyttolaster som är anpassade för sjuktransportuppdrag befinner sig ännu i sin linda men en viss utveckling pågår. På sikt förväntas denna utveckling öka i intensitet och det är då intressant att tidigt kunna beskriva de grundläggande behov och krav som Försvarsmakten kommer behöva ställa på sådana system i syfte att driva utvecklingen i en önskad riktning. I en tidigare Natogrupp togs en uppsättning krav fram som är avsedda att reducera riskerna för den skadade vid obemannade sjuktransporter med UAV:er (s.k. *safe ride standards*) [29]. En sammanställning av dessa ges i Appendix B.

De UGV:er som använts vid demonstrationer av möjligheten att utföra sjuktransporter har endast haft enkla bårar monterade, se figur 4.5. Vibrationerna som den skadade utsätts för kommer med fast monterade bårar, utan någon form av stötdämpning, vara avsevärda vid körning i terräng. Sannolikt behöver dessa vibrationer reduceras betydligt. Det finns även ett behov av bårar där den skadade kan ligga fastspänd i en framstupa sidolägesposition. Även system för aktiv uppvärmning av skadade som ligger på bår bör integreras.

US Army TATRC (eng. *Telemedicine & Advanced Technology Research Center*) är den ledande forsknings- och utvecklingsorganisationen inom området. De har en hel avdelning som fokuserar på robotiska och autonoma system för medicinska tillämpningar (MedRAS).⁵¹ De har bland annat, tillsammans med industri, utvecklat ett bårsystem för MUTT med en robotarm som möjliggör att en ensam soldat kan lasta båren med den skadade (figur 4.6).⁵²

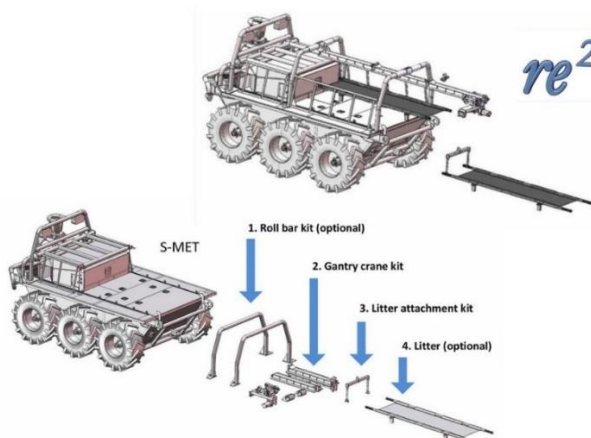
⁵⁰ www.acc-group.se

⁵¹ www.tatrc.org/www/divisions/medras/

⁵² www.army.mil/article/184593/medical_operations_in_the_multidomain_battlefield/



Figur 4.5: MILREM TheMIS utrustad med bärkorg och en enkel bår som användes vid den brittiska övningen AWE18 (foto: FOI).



Figur 4.6: RE2 Robotics och Vecna Technologies utvecklar robotarm som ska göra det möjligt för en ensam sjukvårdare att lyfta ombord en skadad på bår på en UGV (illustration: US Army, public domain⁵³).

⁵³ www.army.mil/article/184593/medical_operations_in_the_multidomain_battlefield

TATRC finansierar även projektet *Autonomous Casualty Extraction (ACE)*, där en robot som ska kunna förflytta sig på skadeplatsen och ge sjukvårdspersonal möjlighet att utvärdera den skadade på distans utvecklas. Roboten ska sedan autonomt flytta den skadade till en specialutvecklad släde och dra den skadade tillbaka till en uppsamlingsplats där ett sjuktransportfordon (exempelvis en UGV) möter upp. Roboten består av en FLIR Kobra med två robotarmar från RE2 Robotics.^{54,55}

4.5 Automatiserad vård under transport

För att på längre sikt, ca tio till femton år, få ett stort genomslag för obemannade sjuktransporter behöver även vård kunna ges under transporten. Detta område har inte utgjort en del av projektet Autonom CASEVAC, men en översiktlig beskrivning av exempel på utvecklingen inom området ges härnäst.

I närtid kommer obemannade sjuktransporter (CASEVAC) att kunna genomföras utan vårdmöjlighet under transport. Det finns dock ett behov av att utveckla en basnivå för vård som administreras automatiserat under (alternativt av exempelvis en stridssjukvårdare inför) transport för traumaskadade. En sådan lägsta nivå kan exempelvis bestå av att den skadade får smärtlindring och antibiotika inför transport. Den amerikanska militären ger även tranexamsyra förebyggande vid traumaskador i syfte att minska risken för blödningar [31,32]. Tranexamsyra skulle eventuellt även kunna ges intramuskulärt med autoinjektor vid behov under transport om sensorer indikerar att behov uppstår. Tranexamsyra har visat sig minska mortaliteten framförallt hos traumapatienter som genomgår massiva blodtransfusioner, men det finns även studier som indikerar att det kan ge en viss ökad risk för venös tromboembolism⁵⁶ (VTE) [32]. I [29] anges även önskemålet att under transport ge möjlighet att förse den skadade med syrgas, vilket kan vara av intresse framförallt vid sjuktransporter som genomförs med en UAV. Ytterligare förberedelser kan vara att placera den skadade i framstupa sidoläge inför transport, förutsatt att skadorna tillåter detta och att den skadade kan spännas fast säkert, samt att det finns möjlighet till aktiv uppvärmning.⁵⁷

Kroppsburna sensorer som mäter vitalparametrar kan komma att utgöra ett viktigt verktyg då det möjliggör automatiserad vård under transport. Detsamma gäller telemedicinska tillämpningar där legitimerad sjukvårdspersonal på distans kan övervaka och ingripa genom att besluta om administrering av läkemedel eller ändringar i rutt eller mottagande vårdenheter.

⁵⁴ www.overtdefense.com/2020/11/26/re2-robotics-to-develop-autonomous-casualty-extraction-ugv-manipulator-arms-for-us-army/

⁵⁵ www.nationaldefensemagazine.org/articles/2021/1/4/army-seeks-robots-to-transport-wounded-troops

⁵⁶ Blodproppar i ben eller armar eller som förflyttat sig till lungorna.

⁵⁷ Informationen i detta stycke, där andra referenser ej anges, härrör från diskussioner med FömedC.

I den andra änden av skalan på vårdnivå under transport pågår utvecklingen av mobila intensivvårdssystem för traumaskadade som ska kunna användas i fält och under sjuktransporter. Exempelvis har Athena GTX en produkt benämnd ACCS (eng. *automated critical care system*) som ska kunna genomföra fysiologisk övervakning av den skadade och genomföra interventioner som styrs av algoritmer som baseras på välkända metoder som TCCC och PHTLS (eng. *prehospital trauma life support*) och implementerade vårdprotokoll och strategier.⁵⁸ Avsikten är att ACCS ska utgöra ett system av system där medicinskt beprövade delsystem som godkänns för användning kan föras in stegvis. ACCS anges idag ha en TRL-nivå på 5 då den används för att ge rekommendationer om åtgärder, exempelvis i kombination med telemedicin, medan systemet på sikt automatiskt ska kunna genomföra dessa åtgärder. Den kan i nuläget administrera dropp och kombineras med en bår. Målsättningen från den amerikanska militärens sida anges vara att föra in automatiserade vårdssystem som ACCS i obemannade CASEVAC-farkoster under detta decennium.⁵⁹ Forskning har genomförts inom detta område i över två decennier [33].⁶⁰

Ett liknande forskningsprojekt som genomförs av University of Pittsburgh och Carnegie-Mellon University är TRACIR (eng. *trauma care in a rucksack*) [34]. Ett nytt fyraårigt projekt med en budget på 7,2 miljoner dollar påbörjades i 2019. Forskningen fokuserar på hur nya biosensorer, robotik och AI (i form av maskininlärning) kan användas för att skapa ett telemonitorerat eller automatiserat system som kan installeras på bemannade eller obemannade farkoster och där ge vård under sjuktransport.⁶¹

Ett intressant koncept vore att utveckla en evakueringspod med standardiserade mått, fästen och kontaktdon som kan användas på olika typer av bemannade och obemannade farkoster. Den ska möjliggöra automatiserad övervakning och vård av den skadade under transport [3].

Under ett stort antal sjukvårdstransporter där medicinsk personal medföljer genomförs ingen vård mer än att den skadade övervakas. Vissa sjuktransporter bör därför kunna genomföras utan legitimerad personal ombord, förutsatt att det är möjligt att på förhand identifiera skadepanoraman som med hög sannolikhet inte behöver vård under transporten. En amerikansk retrospektiv studie beskriver exempelvis att den medicinska personalen i omkring hälften av sjukvårdstransporterna av traumapatienter inte behövde genomföra livräddande interventioner [35]. Behovet av interventioner beror dock starkt på typen av skada. Mer

⁵⁸ athenagtx.com/rd-2/accs/

⁵⁹ ndiastorage.blob.core.usgovapi.net/ndia/2016/medical/Panel8Bishop.pdf

⁶⁰ www.sri.com/case-studies/from-the-home-front-to-the-battlefield-providing-access-to-lifesaving-care/

⁶¹ www.specialoperationsmedicine.org/Documents/2019%20SOMSA/Handouts/THURS-MilSOF%20Poropatich.pdf

kunskap behövs inom detta område då det även kan ge underlag för de relativa riskanalyser som bör genomföras innan transport.

Den amerikanska militären driver i stora delar utvecklingen av tekniker för automatiserad vård under sjuktransporter (eng. *en route care*). De tio högst prioriterade forsknings- och utvecklingsbehoven har beskrivits av CoERCCC (eng. *Committee on En Route Combat Casualty Care*) [36]. Den högst prioriterade forskningen angavs vara förbättrad medicinsk dokumentation (journalföring) av den skadades tillstånd, skador, vilka åtgärder som genomförts och miljö, före, under och efter transport. Därefter angavs kliniskt beslutsstöd (sannolikt i form av deterministiska, regelbaserade algoritmer som skapas utifrån medicinsk expertkunskap) som analyserar och filtrerar data och ger rekommendationer för åtgärder, samt automatisk monitorering av vitalparametrar och status för multipla patienter under transport (med risk för kraftiga vibrationer m.m. som kan försvåra automatisk och noggrann mätning av vitalparametrar), vara högst prioriterade. Obemannade farkoster för sjuktransporter, inklusive i CBRN-kontaminerade miljöer, och transporter av mediciner och blodprodukter angavs av denna grupp utgöra tionde prioritet. Ett riskbedömningsverktyg som kan användas vid beslut om sjuktransport och som tar hänsyn till ett stort antal faktorer kan utgöra ett viktigt hjälpmedel då beslutsfattaren inte kan förväntas ha kunskap om alla faktorer som kan påverka om, när och med vilken farkost den skadade bör transporteras. Ett sådant verktyg utgör prioritet nio [36].

4.6 Diskussion

Existerande obemannade farkoster har nått en relativt hög teknisk mognadsgrad. Logistiktillämpningar utgör ett av de enklaste uppdragen och internationellt pågår en intensiv teknik- och metodutveckling när det gäller obemannade logistikfarkoster (primärt UGV och UAV). Det finns dock ett par kritiska generella tekniska utmaningar som behöver adresseras innan obemannade farkoster kan förväntas föras in på bred front inom Försvarsmakten.

Ett viktigt område är *robusta kommunikations- och positioneringssystem* som kan operera i telestörda miljöer [27,28]. Dagens system är primärt fjärrstyrda med olika nivåer av operatörsstöd och de är kritiskt beroende av kontinuerlig kommunikation med tillräcklig dataakt för att överföra realtidvideo och annan kritisk sensordata. Detta är fortfarande svårt att åstadkomma i telestörda miljöer, framförallt för UGV:er där även terränghinder, vegetation och stadsmiljöer försvårar kommunikationen. Genom att öka autonominivån i den självkörande funktionen kan beroendet av kommunikation reduceras, men istället ökar kraven på ett noggrant positioneringssystem. Även detta är en utmaning att åstadkomma i telestörda miljöer där satellitnavigeringsmottagarna (eng. *Global Navigation Satellite System, GNSS*) är utstörda, framförallt i mörker och om endast passiva sensorer får användas.

Det andra stora utvecklingsbehovet rör behovet av en *vidareutvecklad taktisk autonomi (uppdragsautonomi)* som möjliggör att farkosten flexibelt och automatiskt kan anpassa sig till de taktiska förutsättningarna. Vid en obemannad sjuktransport kan detta innebära att farkosten ska kunna anpassa sin rutt och körprofil utifrån exempelvis en ändrad hotbild eller förändringar hos den skadades tillstånd. I kritiska livshotande situationer ska autonomialgoritmerna även ha förmågan att avgöra om det finns behov av att bryta mot angivna *safe ride standards*. Den kanske svåraste uppgiften är att anpassa uppträdandet utifrån hotsituationen vid en hämtning av en skadad från ett fientligt kontrollerat område (avreglingszon).

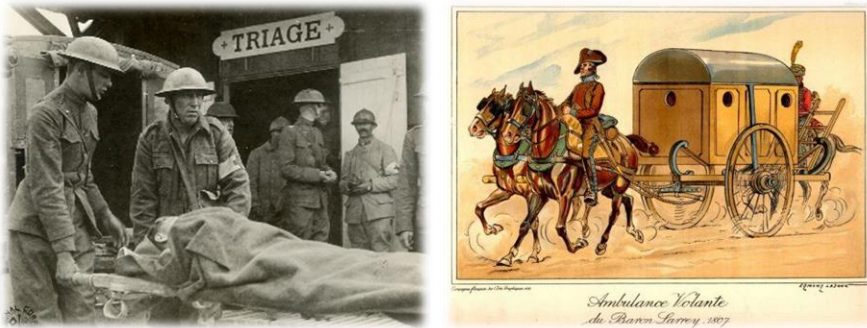
Utöver de ovan beskrivna generella utvecklingsbehoven utgör de (nationella och internationella) juridiska regelverken som försvårar eller förhindrar användningen av framförallt autonoma farkoster den stora utmaningen för en ökad användning av obemannade farkoster. Det finns även ett stort behov av metodförsök i syfte att utvärdera i vilka användningsområden och scenarion som obemannade farkoster kan öka den operativa effekten och hur de bör användas för att maximera effekten.

5 Robotassisterad triage på stridsfältet

Utöver obemannade sjuktransporter finns det flera intressanta medicinska användningsområden för mindre obemannade markgående och flygande farkoster som kan stödja exempelvis sjukvårdsgruppens arbete på skadeplatsen. Dessa applikationer kan utgöra ett komplement till obemannade sjuktransporter, samt även aktivt stödja vid en sjuktransport genom att flyga i förväg och detektera eventuella hinder (vilket möjliggör högre hastighet för UGV) eller upptäcka hot och blockerade vägar (vilket möjliggör omplanering av rutt och kortare transporttider). De kan även användas för spaning och övervakning, telemonitorering med teletriage samt autonom triage [37-39]. UAV:er har använts för hälsorelaterade syften i t.ex. räddningsoperationer för att flyga ut flythjälpmiddel till personer som riskerar drunkning, flyga ut blodprodukter, mediciner och defibrillatorer⁶², eller för att söka efter och lokalisera personer i besvärliga geografiska områden och under svåra vinterförhållanden [40-42].

Olika hälsorelaterade tillämpningsområden för framförallt UAV:er diskuterades i studierapporten *AI för framtidens försvarsmedicin* [3]. Det förväntas inom en relativt nära framtid finnas obemannade farkoster med autonoma funktioner som i ett masskadescenario har möjligheten att stödja sjukvårdsgruppens arbete på skadeplatsen i följande moment: (i) automatiskt skapa en lägesbild, exempelvis av hot, egna enheters positioner och säkra framrycknings- och evakueringsvägar, (ii) lokalisera skadade, (iii) prioritera skadade, (iv) evakuera skadade från skadeplatsen (livräddningsfasen) och (v) transportera de skadade till en lämplig vårdenhet. De två första funktionerna bedöms redan i närtid kunna genomföras med teleopererade UAV:er där en operatör genomför analysen utifrån dess elektrooptiska sensorer, men det är en långsam process och kräver en dedikerad UAV-operatör vilket inte alltid är önskvärt. Eftersom systemen behöver anpassas för operationer i telestörda miljöer, vilket begränsar möjligheterna till kommunikation, är det troligt att operatören behöver befinna sig relativt nära UAV:n, till exempel som en del av sjukvårdsgruppen. Distansestimering av vitalparametrar på skadeplatsen med sensorer på markrobotar eller UAV:er, alternativt med kroppsburna sensorer under transport och på kompani- och bataljonssamlingsplatser, kan ge viktig information till den relativa riskanalysen som behöver genomföras inför en obemannad sjuktransport. Exempel på hur robotassisterad triage med delvis teleopererade obemannade farkoster, och på längre sikt även helautonoma triagesystem, skulle kunna användas av en sjukvårdsgrupp diskuteras i slutet av detta kapitel.

⁶² www.nyteknik.se/innovation/dronare-levererade-hjartstartare-raddade-liv-7026938



Figur 5.1: Vänster: Exempel på en fransk triagestation bakom fronten under andra världskriget (foto: Otis Historical Archives National Museum of Health & Medicine, CC BY 2.0, via wikipedia⁶³). Höger: Dominique Larrey's ambulans (ambulance volante) (illustration: Edmond Lajoux, public domain, via wikimedia commons⁶⁴).

5.1 Triage på stridsfältet

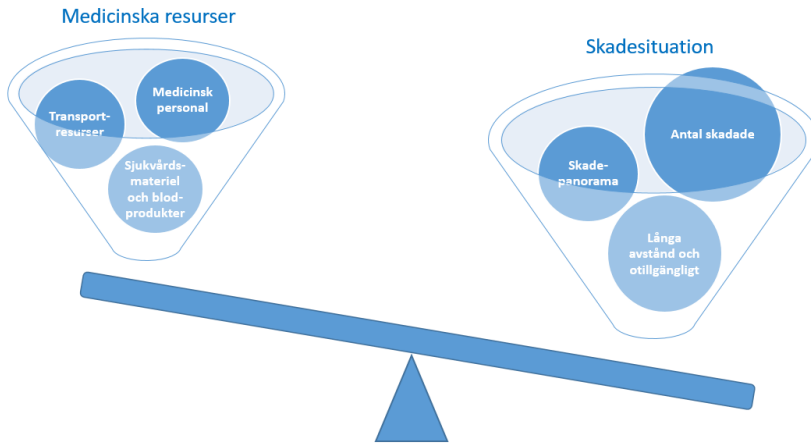
Triage kommer från det franska ordet *trier* som kan översättas med sortera, välja, skilja och ordna. Triage kan beskrivas som en process för att prioritera och sortera skadade och sjuka, framförallt när sjukvårdsbehoven är större än de tillgängliga medicinska resurserna, baserat på patientens symtom, vitalparametrar och sjukdomshistoria. Triage genomförs både prehospitalt och på sjukhus (framförallt på akutmottagningar). Triage är i regel en dynamisk process som behöver återupprepas när möjlighet ges, exempelvis när den skadade anländer till varje ny vårdnivå.

Det första exemplet på modern triage av skadade tros ha införts i slutet av 1790-talet då den franske fältskären Dominique Jean Larrey istället för att omhänderta skadade utifrån deras rang började sortera de skadade utifrån skadetyp i tre kategorier: (i) de som skulle överleva utan vård, (ii) de som skulle avlida oavsett vård och (iii) de som hade möjligheter att överleva med rätt vård. Även fientliga soldater omhändertogs enligt samma principer. Larrey införde även ambulanser (fr. *ambulance volante*) redan under 1790-talet, som hämtade skadade på slagfältet och transporterade dessa till fältsjukhus i närheten. Ambulanserna hade även sjukvårdspersonal ombord som kunde ge vård innan transporten.⁶⁵ Sjuktransporterna och omhändertagandet fokuserades på den tredje gruppen. Triage har använts i krig sedan dess, se exempelvis figur 5.1.

⁶³ commons.wikimedia.org/wiki/File:Wounded_Triage_France_WWI.jpg

⁶⁴ commons.wikimedia.org/wiki/File:Ambulance_of_the_French_Army.jpg

⁶⁵ en.wikipedia.org/wiki/Dominique_Jean_Larrey & hekint.org/2017/01/22/baron-dominique-jean-larrey-founder-of-military-surgery-and-trauma-care/



Figur 5.2: Vid en katastrofsituation eller masskadehändelse är de medicinska resurserna (sjuktransporter, medicinsk personal och sjukvårdsmateriel samt blodprodukter) otillräckliga i jämförelse med behoven. Antalet skadade, hur allvarliga skadorna är och andra faktorer såsom avstånd och terräng påverkar skadesituationen.

Det finns en mängd olika triagemetoder och triage kan genomföras med olika syften beroende på var i vårdkedjan den utförs. Olika länder och organisationer använder olika metoder. Fokus i denna rapport ligger på (prehospitala) metoder för triage (ofta benämnd sållningstriage) primärt avsedda för skadeplats eller kompanisamlingsplats vid stora skadeutfall där vård- och transportbehoven vida överstiger de medicinska resurserna (figur 5.2). Det är dock ett allmänt känt faktum att evidensen för de olika prehospitala triagemetoderna som används vid katastrofsituationer med masskadeutfall är begränsad och olika metoder har i studier visat sig tendera att exempelvis resultera i över- eller undertriage inom olika prioriteringsgrupper [43-44]. Den begränsade evidensen förklarar till del varför det inte finns en samsyn nationellt eller internationellt rörande vilken triagemetod som bör användas. Noterbart är också att barn och äldre kan behöva specialanpassade triagemetoder då de vanligen använda teknikerna fungerar sämre för dessa grupper.

5.1.1 Prioriteringsnivåer

Försvarsmakten använder motsvarande fem prioriterings nivåer som inom Nato [3,11].

5.1.1.1 T1 (röd)

T1 (Röd) används för skadade som har livshotande skador och behöver omedelbar livräddande behandling (livräddande interventioner), och där medicinsk sjuktransport bör genomföras omgående (så fort patienten

stabiliserats). Dessa skadade har goda möjligheter att överleva om de får adekvat vård i rätt tid.

5.1.1.2 T2 (gul)

T2 (Gul) allokeras då den skadade har allvarliga men ej akut livshotande skador (exempelvis bortsprängda extremiteter där blödningen stoppats genom applicering av tourniquet). Den skadade behöver stabiliserande vård och sjuktransport i närtid.

5.1.1.3 T3 (grön)

T3 (Grön) tilldelas då den skadade endast har lättare skador där första hjälpen bör administreras eller om den skadade kan ge sig själv första hjälpen. Avtransport kan ske när möjlighet finns.

5.1.1.4 Död (svart)

Vid Död (Svart) krävs att soldaten är dödförklarad av läkare, alternativt har skador som är oförenliga med överlevnad (t.ex. dekapitation). De samlas ihop, skyddas och transporteras när möjlighet finns.

5.1.1.5 Döende (blå)

Prioritetsnivå Blå (döende) tilldelas om den skadade har så allvarliga skador att denne inte bedöms ha möjlighet att överleva baserat på den vård som kan ges. Den skadade ges palliativ vård och är inte prioriterad för sjuktransport. Denna prioritetsgrupp används enbart när katastrofmedicinska behandlingsprinciper har aktiverats.

5.1.2 Triagemetoder

Det militära scenariot skiljer sig från det civila på flera områden, exempelvis när det gäller tillgänglig medicinsk utrustning, kunskapsnivå hos de som utför det akuta omhändertagandet, svår terräng och långa avstånd som kan resultera i långa transporttider med markfordon, höga hotnivåer och risk för nya skador. I det civila fallet utförs triage av medicinskt utbildad personal såsom en ambulanssjuksköterska eller akutläkare (som var fallet vid terrorattentatet på Drottninggatan i Stockholm 7 april 2017) [45]. Det innebär att utbildningen och kunskapsnivån hos de som genomför det första akuta omhändertagandet på skadeplatsen kan vara avsevärt lägre i den militära kontexten, där den kan komma att utföras genom kamrathjälp eller en stridssjukvårdare. Prehospitala triagemetoder avsedda för katastrofsituationer är utvecklade för att kunna användas i ytterst påfrestande situationer och ge möjlighet att så snabbt som möjligt prioritera ett stort antal skadade. De behöver därför vara enkla att

genomföra och tiden för att genomföra en triage behöver reduceras så mycket som möjligt [44]. Det kan även i en stridssituation vara svårare att mäta den skadades vitalparametrar.

Majoriteten av de prehospitala triagemetoderna anger även att specifika livräddande interventioner ska utföras som ett led vid triagering. Det handlar primärt om att frigöra andningsvägar, men i militära scenarion med traumaskador har erfarenhet visat att det är kritiskt att snabbt stoppa katastrofala blödningar (exempelvis med tourniquet eller hemostatiska förband beroende på typ av skada [46]) och placera den skadade i framstupa sidoläge (alternativt läggs den skadade på mage).

Exempel på triagemetoder som använts i militära sammanhang det senaste decenniet är:

- *Military Triage Sieve* (MS)
- *Modified Military Sieve* (MMS)
- *Simple Triage and Rapid Treatment* (START)
- *Battlefield Advanced Trauma Life Support* (BATLS, en vidareutveckling av ATLS)
- *Tactical Combat Casualty Care* (TCCC).

Försvarsmakten började i slutet av 1990-talet använda BATLS, men har de senaste åren övergått till att använda valda delar av TCCC [46].^{66,67}

5.1.3 Prioriterade vitalparametrar

I [47] föreslås att ett verktyg tas fram, med förhoppningen är att det på sikt ska kunna användas som ett standardiserat prehospitalt beslutsstöd för masskadesituationer. En litteraturstudie genomfördes som visade att det finns stora likheter mellan de flesta prehospitala triagemetoderna och att det är möjligt att ersätta nummerbaserade prehospitala beslutsstöd (som många triagemetoder resulterar i) med kliniska tecken och symtom. Majoriteten av triagemetoderna innefattar även olika livräddande interventioner, såsom att stoppa katastrofala blödningar och att säkerställa att luftvägarna är fria. En metod (eng. *Sort Assess Lifesaving Intervention Triage/Transport*, SALT) inkluderar även administrering av antidoter och bröstkompressioner som livräddande interventioner.

Följande indikatorer används av olika triagemetoder [47]:

- Ambulatorisk (kan den skadade gå?)
- Andning och öppna andningsvägar
- Andningsfrekvens

⁶⁶ www.forsvarsmakten.se/sv/aktuellt/2015/03/vad-ar-batls/

⁶⁷ www.forsvarsmakten.se/sv/aktuellt/2015/09/unikts-samarbete-gav-guld-i-sjukvard/

- Puls
- Följa instruktioner

Skadade men *ambulatoriska* soldater på skadeplatsen ges en låg prioritet vid triage då sannolikheten är hög att de kan se om sina egna skador och även fortsätta fullgöra sina stridsuppgifter. Deras tillstånd kan dock förvärras och de bör genomgå ny triage och övervakas om möjlighet finns. Om den skadade inte *andas* utgör det en kritisk indikator som innebär att de resurser som krävs för att försöka rädda den skadade är betydande. Vid masskadescenarion prioriteras därför andra skadade som har större chans att överleva. Livräddande interventioner som att kontrollera andningsvägarna appliceras dock normalt först för att se om den skadade då börjar andas självant. *Andningsfrekvens* utgör en viktig indikator för olika skador på lungor och luftvägar, t.ex. att den skadade utsatts för farliga kemiska ämnen eller att den har kraftiga blödningar som orsakar hypovolemi (för låg blodvolym). Det kan dock vara svårt att tillförlitligt mäta andningsfrekvensen på en kort tid. *Andningssvårigheter* är dock ofta enklare att detektera och bör leda till en hög prioritet. *Puls* används som vitalparameter istället för blodtryck som kräver både utrustning och tar längre tid att mäta, vilket gör det svårt att mäta på skadeplatsen. Ett annat snabbt alternativ som används i vissa triagemetoder är att mäta hur snabbt kapillärerna återfylls efter att ha applicerat tryck (exempelvis med en tumme som trycks mot pannan på den skadade). Metoden anges dock ha begränsat värde och den fungerar dåligt i kyla och mörker samt eventuellt för stridsmålade soldater. Huruvida den skadade kan *följa instruktioner* och ge ett verbalt eller motoriskt svar utgör en del av bedömningen av den skadades neurologiska status. Det är även en del av *Glasgow Coma Scale* (GCS), som används i sekundära triagemetoder. [47]

Utifrån likheterna hos de olika triagemetoderna och Försvarmaktens användning av (L)C-ABCDE, kan följande behov identifieras för robotassisterad triage:

- identifiera livsfarligt läge
- detektera katastrofala blödningar eller allvarliga extremitetsskador
- ge verbala instruktioner och iaktta den skadades respons
- detektera om den skadade andas
- estimerar andningsfrekvensen (alternativt andningssvårigheter)
- estimerar (*radial/peripheral*) puls (som ersättning för blodtryck, alternativt genom att estimerar *capillary refill*)
- genomföra livräddande interventioner såsom att stoppa blödningar och frigöra andningsvägar.

5.2 Estimering av vitalparametrar

Vid robotassisterad triage på skadeplatsen kan mätningar av vitalparametrar behöva genomföras på distans då det i nuläget inte kan antas att soldaterna är utrustade med kroppsburna sensorer som kan estimerar dessa. När den skadade

väl har blivit omhändertagen av en fysisk person kan det antas att denne kan ha utrustats med (icke-invasiva) kroppsburna sensorer (se exempelvis [3]). Mätningar av vitalparametrar på distans under exempelvis sjuktransport från skadeplats eller skadesamlingsplats är därför inte prioriterat då kroppsburna sensorer bör kunna estimerar vitalparametrar säkrare och enklare, utan de tekniker som diskuteras härnäst är primärt avsedda för skadeplatsen och eventuellt på kompanisamlingsplatsen.

I [3] ges exempel på forskningsläget när det gäller olika tekniker för att estimerar exempelvis andningsfrekvens, blodets syremättnad och hjärtfrekvens på distans. De exempel som beskrivs är primärt utvecklade för kontrollerade miljöer, såsom sjukhus- och hemmiljö, medan förutsättningarna är väsentligt annorlunda i samband med triage på stridsfältet. Utmaningarna i att omsätta mycket av den föreslagna – och ofta beprövade – tekniken i fält kan sammanfattas genom att betrakta några betydande skillnader mellan en kontrollerad, klinisk situation och ett kaotiskt, militärt scenario:

- *Mätsituationen* – en stor majoritet av existerande metoder för estimering av vitalparametrar förutsätter ett *kooperativt* scenario, där personen vars vitalparameter ska mätas beter sig på ett visst sätt eller befinner sig på en viss position relativt sensorn, och kan följa eventuella instruktioner. I samband med triage i en kaotisk, okontrollerad miljö handlar det istället om en *icke-kooperativ* situation där den skadade inte kan förväntas vara i stånd att t.ex. följa instruktioner, agera eller vara klädd på ett visst sätt.
- *Sensorerna* – alla typer av sensorer och sensorkonfigurationer som föreslagits, och ibland redan används i kliniska sammanhang och i hemmiljöer, lämpar sig knappast för praktisk användning i fält. Många mer avancerade mätsystem är på experimentstadiet eller inte ämnade att användas någon annanstans än i en inomhusmiljö. Sådana system kan vara stora eller bestå av flera separata delar, såsom sändare och mottagare, flera samverkande sensorer i nätverk, fixturer, etc., vilket försvårar omsättning av sådan teknik i fält.
- *Miljön* – en klinisk miljö skiljer sig väldigt mycket från en stridsmiljö även ur ett sensorperspektiv. Faktorer som väder och vind, temperatur, fukt, bakgrundsljus och störande reflektioner försämrar förutsättningarna för lyckade analyser jämfört med en inommiljö där störande element kunnat minimeras alternativt kompenserats för. Stridsmiljön bjuder också utmaningar i form av begränsad framkomlighet och sämre möjligheter att positionera sensorerna fördelaktigt relativt den skadade. Risken för att en UAV eller UGV avslöjar de skadades positioner för fientliga förband behöver även tas hänsyn till.
- *Tidsskalan* – i samband med triage måste en bedömning av den skadades tillstånd kunna göras snabbt. Tiden som finns tillgänglig påverkas av antalet skadade i relation till antal personer som kan genomföra triageringen. Förutom att det inte kommer att finnas tid till

mätdatainsamling under längre tider, t.ex. för att stabilisera eller filtrera svaga signaler, kommer det inte heller finnas tid för större justeringar av mätuppställningen eller för att göra utvärderingar och, vid behov, upprepade mätningar.

5.3 CBRN-aspekter vid triage

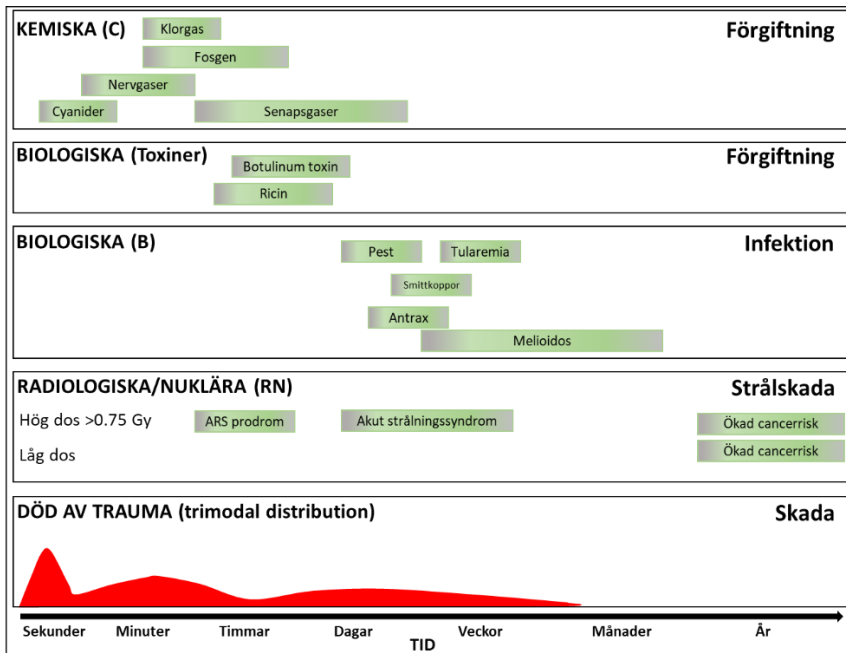
CBRN är en etablerad akronym för kemiska (C), biologiska (B), radiologiska (R) och nukleära (N) ämnen. Vid CBRN-händelser finns ett behov av att snabbt kunna upptäcka att en sådan kan ha skett, bland annat för att undvika vidare kontaminering av sjukvårdspersonal samt för omhändertagandet av skadade och sjuka. På grund av ämnesgruppernas olika egenskaper och hur de påverkar en människa (framförallt när det gäller tiden från exponering till symtom uppträder) skiljer sig möjligheterna att identifiera eventuella CBRN-händelser vid en första sällningstriage (figur 5.3) [48].

Vid en C-händelse uppkommer vanligen symtom hos de skadade tidigt på skadeplats, framförallt om exponering sker via inandning av giftiga kemikalier. Exponering för C-ämne via hudkontakt kan däremot leda till att uppkomsten av symtom blir fördröjda. För kemiska stridsmedel som senapsgas och nervgaser kan symtom uppkomma timmar eller upp till ett dygn efter hudexponering.

Efter exponering för B-ämne uppstår sällan symtom omedelbart, utan de uppkommer efter en inkubationstid som kan sträcka sig timmar eller dagar efter att individen blivit utsatt för dessa ämnen. Det finns en viss skillnad i tid till symtom uppträder efter en exponering av toxiner och infektiösa agens. Dock är behovet av sällningstriage på skadeplats eller vid kompanisamlingsplats vid B-händelse som regel litet för båda dessa ämnesgrupper.

Vid exponering för strålning (RN) krävs en hög dos för att akuta symtom ska uppkomma en kort tid efter exponering. Allvarliga symtom uppkommer vanligen dagar, veckor eller år efter en exponering. Vid detonation av kärnvapen kan även akuta traumaskador uppkomma som kommer att kräva sällningstriage på skadeplats. Skadade soldater med kombinationsskador, i form av traumaskador och som dessutom blivit exponerade för CBRN-ämnena, kan även de behöva ett anpassat omhändertagande och triage.

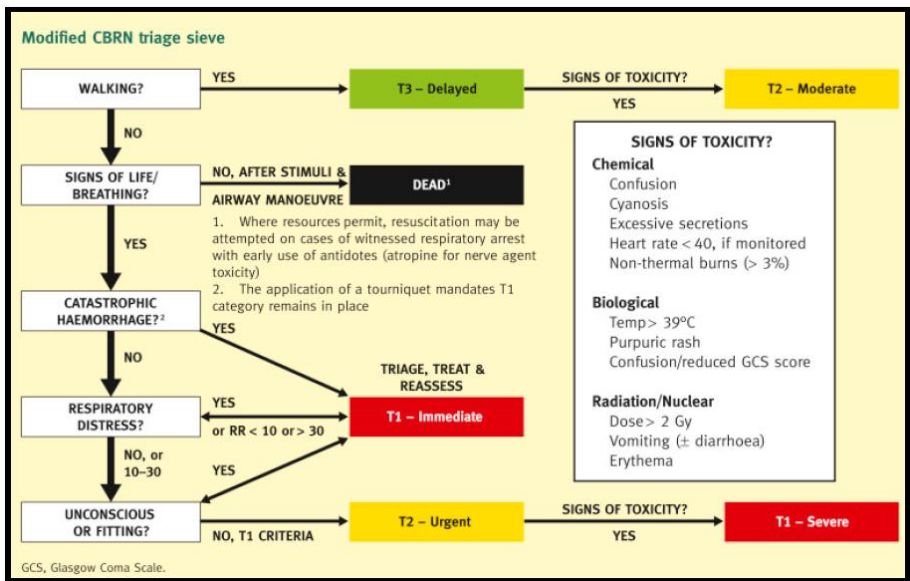
Befintliga sällningstriagemetoder fokuserar främst på kroppsskada till följd av yttre våld (trauma) och tar i allmänhet inte hänsyn till CBRN-händelser. I ett modifierat triagesystem inom NATO har CBRN-ämnena inkluderats (figur 5.4) [48,49]. Systemet baseras på en befintlig sällningstriagemetod med tillägg för CBRN-händelser, vilket förenklar den operativa användbarheten. För att kunna nyttjas på skadeplats har antalet symtom för respektive ämnesbokstav begränsats på triagekortet. Med hänvisning till figur 5.3, som åskådliggör tid till symtom uppkommer hos exponerade vid CBRN-händelser, bör symtom för kemiska



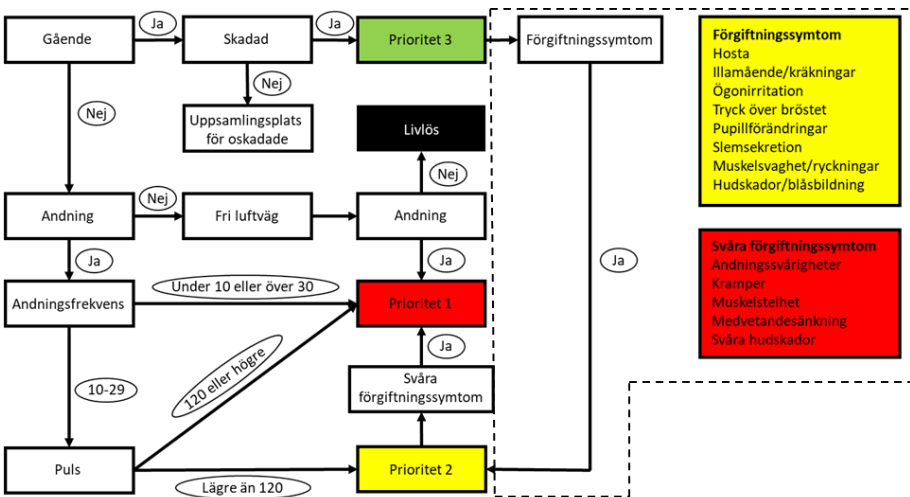
Figur 5.3: Tid till uppkomst av symtom efter exponering för CBRN-ämne och jämförelse med död av traumaskador. För kemiska och biologiska ämnen anges exempel på specifika agens. Gruppen biologiska ämnen indelas i toxiner, som leder till förgiftning, och B-ämnena som är infektiösa agens. För RN utgår symtomutvecklingen från strålningsdos. ARS (Acute Radiation Syndrome) prodrom är det tidigaste stadiet av akut strålningssyndrom, exempelvis illamående och kräkningar. Bilden är reviderad efter förlaga från NATO:s AmedP-7.1 [48].

exponeringar få större tyngd än B- och RN-händelser. De få och generella förgiftningssymtom som finns upptagna på NATO:s triagekort kan resultera i att vissa allvarliga eller fördröjda förgiftningar kan riskera att inte beaktas. Symtomutvecklingen skiljer sig åt mellan olika kemiska exponeringar, vilket också medför svårigheter att identifiera personer med risk att utveckla fördröjda symtom är nödvändigt.

Det finns därmed ett behov av triagesystem som bättre beskriver åtgärder vid C-exponeringar och som företrädesvis även bör kunna hantera behov av tidig medicinsk behandling trots avsaknad av tydliga symtom för att undvika allvarliga fördröjda komplikationer och/eller kroniska effekter. För att etablera triagerutiner vid förgiftningar har därför förenklade principer föreslagits baserat på START, ett triagesystem som nyttjas vid civila masskadehändelser [50]. Dessa beskriver generella förgiftningssymtom, indelade i initiala och svåra symtom, för att kunna prioritera de skadade (figur 5.5). Motsvarande triagekort kan utvecklas för användning inom Försvarsmakten för att både kunna nyttjas för tidig indikation av C-händelse skett och för anpassad sållningstriage vid misstanke om att sådan exponering har skett.



Figur 5.4: Modifierat triagekort för CBRN-händelser som föreslås inom NATO, vilket baseras på deras grundläggande sållningstriagemetod [48,49].



Figur 5.5: Modell av prehospitalt triageringskort för C-händelser baserat på triagemetodiken START [50]. De delar som är tillagda på triagekortet för förgiftningssymtom är markerade med streckad linje.



Figur 5.6: Exempel på personlig skyddsutrustning i form av ansiktsmask och C-vätskeskydd (vänster, foto Carl Johan Strid, Försvarsmakten) och C-stridsdräkt 90K (höger, foto Försvarsmakten).

Vid CBRN-händelser behöver triage kunna utföras av insatspersonal i riskfyllda miljöer. På grund av kontaminationsrisken krävs att skyddsutrustning bärs, vilket försvårar möjligheten att utföra triage, exempelvis estimering av den skadades vitalparametrar (se figur 5.6 för exempel på militär skyddsutrustning). I dessa situationer skulle robotassisterad triage vara till nytta. Videoanalys som används för att observera symtom på distans kan förstärka triageförmågan om den används i kombination med kroppsburna sensorer som mäter vitalparametrar såsom andningsfrekvens, puls och syremättnaden i blodet (pulsoxymetri).

5.3.1 Lägesbedömning

Oavsett tid till symtom hos den skadade är det viktigt att i ett tidigt skede kunna konstatera att utspridning av CBRN-ämne skett för att undvika sekundär kontamination till exempelvis sjukvårdspersonal. Detta bör även uppmärksammas vid händelser där potentiella kombinationsskador av trauma och CBRN-kontamination kan uppkomma. För att kunna få en korrekt lägesbild av skadeplatsen är därför indikering en viktig aspekt vid CBRN-händelse [51]. Indikering av CBRN-agens skulle kunna utföras genom att placera mätutrustning på markgående robotar eller UAV:er som även kan användas vid robotassisterad triage, vilket skulle minska exponeringsrisken för insatspersonal [52].⁶⁸ På grund av begränsningar i dagens indikeringsteknologier bör dock detta endast användas som ett komplement då exempelvis indikering av B-ämnena och kvarliggande C-ämnena i dagsläget inte kan göras med tillräcklig tillförlitlighet. Vid akuta C-förgiftningar kan därför skadade individer komma att utgöra den första indikationen på att C-händelse ägt rum. Befintliga teknologier för mätning av

⁶⁸ Försvarsmakten använder idag olika typer av bärbara indikationshjälpmedel, ex.v. indikeringspapper, dosimeter 61 för att mäta röntgen- och gammastrålning samt *Lightweight Chemical Detector* och AP2CE för indikering av kemiska ämnen. Liknande sensorer kan utvecklas för automatiserad detektion och integreras på bland annat UGV:er.

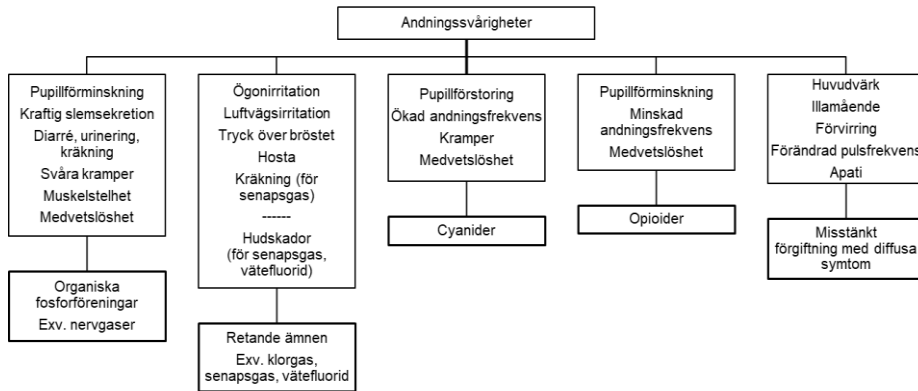
strålning är generellt pålitliga och har känslighet för alfa-, beta- och gammastrålning även vid låga nivåer.

5.3.2 Sensorassisterad triage vid C-händelser

Vid generell sällningstriage är förmåga att gå, andningsförmåga, andningsfrekvens, puls och medvetenhet primära parametrar för att en skadad ska prioriteras. Dessa parametrar kan även påverkas vid exponering för CBRN-ämne, framförallt vid förgiftningar där svåra symtom kan uppkomma snabbt. Identifiering av kemikalieexponering som orsak till skadan kan klarläggas genom att lägga till mer specifika förgiftningssymptom som inte inkluderas i generella triagesystem [50].

Kroppsburna sensorer för triage vid C-händelse bör inkludera parametrar som avspeglar svårighetsgrad av förgiftning och gärna specifika fysiologiska parametrar som kan särskilja förgiftningar från det mönster av parametrar som uppkommer vid traumaskador. En ytterligare aspekt är att särskilja olika typer av förgiftningar där symtombilden kan vara svårtolkad och leda till felaktig diagnosticering, exempelvis att skilja på förgiftning orsakad av nervgaser och opioider [53]. För att öka specificiteten vid triagering av C-exponeringar bör pulsoxymetri (syremättnad i blod) inkluderas utöver mätning av andningsfrekvens och puls [54]. Förutom att sensorer kan etableras på markgående robotar eller UAV:er är det möjligt att övervaka fysiologiska parametrar med kroppsburna sensorer, exempelvis i form av smarta klockor med inbyggda sensorer [55]. Dock behöver robustheten i mätdata och tillgängligheten för soldaten till bärbara teknologier utredas för att kunna bedöma användbarheten i fält. Identifiering av akuta förgiftningar via sensorbaserade teknologier kräver generellt multimodala lösningar, vilket har visats i en studie på försöksdjur där tidig upptäckt och identifiering av specifik förgiftningsorsak kunde utföras med hjälp av övervakning av andning, elektrokardiografi och elektroencefalografi [56]. Sensorassisterad triage vid C-händelse skulle kunna förbättras med hjälp av att de skadade dokumenteras via foto eller video, där tolkning av toxidrom⁶⁹ skulle kunna genomföras på distans av utbildad sjukvårdspersonal. Detta bedöms kunna stärka förmågan att genomföra fjärbaserad triage och även minska risken för felaktiga diagnostiseringar. Det vanligaste symtomet vid förgiftningar är andningssvårigheter. Dock kan de toxidrom som uppkommer efter kemikalieexponering nyttjas för att identifiera förgiftningsorsak. I figur 5.7 finns toxidrom beskrivna för utvalda kemikaliegrupper, vilka skulle kunna nyttjas vid videoanalys. Med hjälp av videoanalys kan exempelvis pupillförändringar, våta symtom som exempelvis kraftig salivering och kräkning, svåra muskelkramper och hudskador observeras. För att detta ska vara användbart inom Försvarsmakten bör det dock utredas var i sjukvårdsorganisationen detta

⁶⁹ Typiska symtomkomplex vid förgiftningar.



Figur 5.7: Toxidrom som uppkommer vid förgiftning av utvalda kemikaliegrupper.

bildmaterial kan analyseras och vilken kunskapsnivå gällande tolkning av symtom orsakade av exponering för CBRN-ämne som bör finnas på denna nivå. Bör denna förmåga finnas hos sjuksköterskan i en sjukvårdsgrupp eller hos en läkare på en bataljons- eller brigadsamlingsplats?

För bättre iakttagelseförmåga av händelse med B-ämne är mätning av kroppstemperatur en viktig grundläggande fysiologisk parameter. Dock blir detta aktuellt först vid bataljonssamlingsplatsen eller högre vårdnivåer då symtom typiskt uppkommer timmar eller dagar efter en exponering.

5.3.3 Sjuktransporter

Sjukvårdspersonalen bör inte vid en allvarlig CBRN-händelse åka in i det kontaminerade området för att omhänderta eller evakuera de skadade, utan de enheter som befinner sig inuti området (exempelvis kompaniets sjukvårdsgrupper med dess transportresurser, beroende på det kontaminerade områdets utsträckning) kommer sannolikt behöva hantera de skadade själva.

Tillgängliga stridsfordon i riskområdet kan möjligen nyttjas för evakuering till plats för upphämtning av skadade, dock måste en riskbedömning genomföras huruvida potentiellt kontaminerade fordon kan utöka riskområdet och vidare kontaminationsrisker för förare och skadade i fordonet. Evakuering av CBRN-kontaminerade individer från skadeplats med hjälp av obemannade farkoster ger en möjlighet att öka sjuktransportförmågan vid en CBRN-händelse. Detta är särskilt fördelaktigt i situationer där storleken av riskområdet är svårbedömd på grund av okänt ämne och oklara utspridningsförhållanden. Vid allvarliga C-exponeringar, exempelvis vid nervgasförgiftningar, är tiden till akut omhändertagande kritisk och där krävs särskilda resurser för personsanering och medicinskt omhändertagande, exempelvis saneringsmedel, antidoter och respiratorer. I dessa situationer kan UAV:er utgöra ett attraktivt alternativ till

stridsfordon eller fältambulanser då de kan transportera en skadad snabbare och utan risk för exponering av förare [23,53].

Stridssjukvårdare kommer troligen genomföra triage och utföra livräddande åtgärder, exempelvis applicera tourniquet vid kombinationsskador eller administrera tillgängliga läkemedel på skadeplats. Alternativt genomförs detta genom kamrathjälp. I dessa situationer kan robotassisterad triage utgöra ett stöd, framförallt om det kombineras med kroppsburna sensorer och videoanalys på distans. Vid behov av hjälp att lasta kontaminerade soldater i obemannade farkoster består denna troligen av kamrathjälp från andra soldater i riskområdet. Beslutet att använda tillgängliga stridsfordon eller obemannad farkost för evakuering av skadade behöver baseras på avståndet från skadeplats till nödvändiga sjukvårdsresurser eller platsen för sanering och omlastning till annat transportmedel.

5.4 Robotar som stöd vid triage

Robotassisterad triage ses framförallt som intressant för den primära triageringen som genomförs på skadeplatsen - vid stora skadeutfall, innan sjukvårdsgruppen anländer till skadeplatsen eller vid farliga situationer då personal inte kan närma sig skadeplatsen direkt. Flera teoretiska studier med civila scenarion har visat på att UAV:er i många fall skulle kunna anlända till en skadeplats snabbare än räddningstjänsten, inklusive ambulanser [57,58]. En färsk svensk studie som publicerades under 2021 har även visat detta i praktiken, där UAV:er användes för att leverera defibrillatorer i en urban miljö [59]. I det militära scenariot med UGV:er kan eventuellt i framtiden en större logistik-UGV redan finnas nära skadeplatsen. Ur triageringssynpunkt kan flera mindre UGV:er eller markrobotar vara mer användbara och dessa skulle kunna bäras av en större logistik-UGV eller flygas in med UAV innan sjukvårdsgruppen anländer.

Biosensorer kan komma att utgöra en integrerad del av soldatens utrustning i framtiden och de skulle då kunna nyttjas som stöd vid triagering samt för monitorering av den skadade under transport [60]. I dagsläget går det dock inte att räkna med att sådana sensorer finns tillgängliga och andra sätt för detektion av vitalparametrar behöver användas. Även inom det civila samhället pågår diskussioner om att räddningspersonal ska kunna ha med sig små och lätta sensorer som placeras på den skadade för avläsning av vitalparametrar [61]. Det finns därmed ett behov av att från markrobotar eller UAV:er kunna estimerar vitalparametrar och estimerar andra triageindikatorer på distans då det kan vara svårt för dessa att placera sensorer på skadade i realistiska miljöer och då de har full stridsutrustning på.

Med triageindikator menas i denna rapport andra parametrar än fysiologiska parametrar som kan vara av vikt vid triagering, exempelvis geografisk position på den skadade, beräknad tid till evakuering, tillgång till olika sorters medicinska

resurser, osv. Ju mer kaotisk en skadesituation är och ju längre bort från den kliniska miljön skadeplatsen är, desto färre resurser (personal, medicin, och evakueringsmöjligheter) går det att räkna med [62]. Referensintervallen för vitalparametrar påverkas av faktorer som allmänt hälsotillstånd, ålder och kön [63].

Flera olika typer av UxV-assisterad triage diskuteras inom forskningssamfundet, där de två huvudgrupperna är s.k. teletriage samt autonom triage [39]. I det fortsatta arbetet är fokus mot en blandning av teletriage och automatiserad distansavläsning av vitalparametrar och triageindikatorer, vilket benämns robotassisterad triage.

5.4.1 Teletriage

I teletriageringsfallet används en UAV eller UGV som den legitimerade personalens förlängda arm och sortering av skadade genomförs av sjukvårdspersonal, men på distans. Vid teletriagering är det även tänkbart att olika datorstöd kan användas som stöd vid bedömningarna, t.ex. bildförstärkningstekniker såsom in- och ut-zoomning, ljusförstärkning vid sämre ljusförhållanden, förstärkning av andningsrörelser, ökade färgkontraster för att lättare upptäcka blödningar osv.

En studie jämförde traditionell (mänsklig) triage med UAV-baserad teletriagering vid ett masskadescenario [64]. Tiden på plats, triageringstid och prioriteringar jämfördes. Ingen statistisk skillnad uppmättes mellan den traditionella och den UAV-assisterade gruppen gällande träffsäkerhet eller evakueringstid. Goda resultat har även framkommit i praktiska försök med UAV:er utrustade med högtalare för att ge instruktioner på distans till individer och grupper, så att de kan ta sig till säkerhet eller agera så att teletriagering underlättas [64].

Olika beslutsstöd har tagits fram för civila teletriageringsyften t.ex. då individer ringer in till alarmcenter för att hjälpa sjuksköterskorna att prioritera inringarna [65-67]. Teletriagering med UAV:er för användning på slagfält är dock ett så pass nytt koncept att inget automatiskt triageringsstöd har identifierats för denna applikation i den genomförda litteraturstudien.

I ett militärt scenario med operationer i telestörda miljöer utgör kravet på realtidskommunikation en utmaning vid teletriage. Teletriage förutsätter även att en dedikerad sjukvårdsutbildad operatör avsätts för denna uppgift. Kommunikationsbegränsningarna kan innebära att denna uppgift bör genomföras av en medlem i sjukvårdsgruppen som förväntas befinna sig relativt nära skadeplatsen. Teletriage kan då utgöra ett stöd som i anslutning till och under transporten till skadeplatsen underlättar planeringen av sjukvårdsinsatsen då sjukvårdsgruppen anländer.

5.4.2 Autonom triage

Den andra huvudgruppen av UxV-assisterad triage är s.k. autonom triagering. Vid den autonoma triageringen tolkar datorn sensordata och beräknar vitalparametrar samt andra relevanta triageindikatorer såsom antal skadade, position, blödningar osv. En möjlighet vid autonom triagering är att flera individer går att följa samtidigt, flera typer av vitalparametrar kan analyseras parallellt samt att kontinuerlig avläsning av vitalparametrar är möjlig [68-70].

Givet ett automatiserat beslutstöd kan en autonom UxV även göra en sortering av de skadade. I kliniska situationer som på akutmottagningen har flera ansatser föreslagits med företrädesvis olika typer av maskininlärning och djupinlärning för att automatisera triageringen [71-73]. Dessa metoder bygger dock ofta på ett stort erfarenhets- och dataunderlag som kunnat nyttjas för träning och framtagning av de datalogiska modellerna. Det är däremot ytterst osäkert att dessa ansatser går att överföra rakt av till den militära stridsfältsmiljön för autonom triagering med UxV:er.

Andra utmaningar som finns är t.ex. hur ett UxV-assisterat triageringssystem skall förhålla sig till vissa triage-kategorier såsom ”svart”, dels pga. etiska anledningar men dels även pga. tekniska anledningar [74]. Det är troligt att plattformen under realistiska förhållanden inte alltid kan komma åt och göra sensoravläsningar som ger tillräckligt god kvalitet på vitalparametervärdena.

Autonom triage bedöms inte vara moget för att föras in operativt under detta decennium, dels utifrån de tekniska svårigheterna, dels de juridiska och etiska utmaningarna och dels utifrån behovet av att skapa användaracceptans för tekniken.

5.4.3 Robotassisterad triage

På medellång sikt, fem till tio år framåt, är det sannolikt att teletriage kommer att kombineras med automatiserad avläsning av vitalparametrar och automatiska bedömningar av triageindikatorer, såsom huruvida skadade kan gå eller följa enkla instruktioner. I militära scenarion utgör katastrofala blödningar en av de vanligaste dödsorsakerna och är därmed en viktig triageindikator som med hög prioritet behöver upptäckas automatiskt eller via teletriage [75-77]. Vid CBRN-händelser kan även olika toxidrom upptäckas via teletriage, men flera av dessa bör i framtiden även kunna detekteras med automatiserade bildbehandlingsalgoritmer. Utöver detta behöver även systemet detektera andning och därefter estimeras andningsfrekvens, alternativt endast detektera eventuella andningssvårigheter, och den skadades puls (se även 5.1.3). Att identifiera om den skadade befinner sig i ett livsfarligt läge är även prioriterat. Existerande markrobotar har dock ännu svårt att genomföra nödvändiga livräddande interventioner, vilket ytterligare poängterar behovet av sjukvårdspersonal på skadeplatsen och att robotar tills vidare bör användas i en stödjande roll.

Tekniska utmaningar som behöver undersökas vidare är hur olika vitalparametrar skall kunna detekteras på distans, till vilken grad värdena är tillförlitliga samt under vilka förhållanden de går att utläsa.

5.5 Estimering av vitalparametrar och triageindikatorer på distans

I detta avsnitt beskrivs olika sensorer och metoder för att detektera vitalparametrar och triageindikatorer på distans. Det är dock ännu inte klarlagt huruvida dessa metoder är tillämpliga under realistiska militära förhållanden. Fortsatta studier och experimentella utvärderingar behöver genomföras för att öka förståelsen om vilka vitalparametrar som kan estimeras på distans under fältmässiga förhållanden.

5.5.1 Sensorer

Forskningen om automatisk fjärravläsning av vitalparametrar är intensiv. I följande avsnitt ges en kort översikt av sensortyper som utvärderats för estimering av vitalparametrar och triageindikatorer på distans. De har dock ännu inte utvärderats under realistiska fältmässiga förhållanden.

5.5.1.1 Visuellt och när-IR

Tekniker baserade på vanliga kameror i det visuella spektrumet röner för närvarande det största intresset, sett till mängden publikationer. Här finns starka drivkrafter i form av möjligheter till internetbaserade sjukvårdstjänster, men även ökad säkerhet för individer och samhället i stort. Det handlar om webbaserade tjänster genom vilka personer kan nyttja sin mobiltelefon eller dator i hemmiljön för kartläggning av symtom och hjälpa läkare att ställa rätt diagnos, om hälsoövervakning av (främst) äldre personer i hemmet, samt detektion och kartläggning av symptom hos personer i offentliga miljöer. Det senare har aktualiserats i och med den rådande Covid-19 pandemin.

I [78] presenterades nyligen en metod för att samtidigt uppskatta både puls- och andningsfrekvens utifrån videofilmer av en persons ansikte. Algoritmerna bygger på maskininlärning med s.k. *convolutional attention networks* och rapporterades ge *state-of-the-art*-resultat och kunna köras på en bärbar enhet, som t.ex. en mobiltelefon, i bildtakter på upp till 150 bilder per sekund. Algoritmen utvärderades på ett antal referensdataset och gav ett medelfel på ca 2-3 hjärtslag respektive andetag per minut.

En stor fördel med visuella kameror är deras låga kostnad i kombination med hög upplösning och bildtakt, men för att öka kvalitet och robusthet på fjärravläsningen är ofta komplettering med information utanför det synliga

spektrumet önskvärd. Exempelvis ger ljus i det osynliga när-IR (eng. *near infra-red*, NIR) området bättre förutsättningar att avläsa puls genom s.k. rPPG (eng. *remote photoplethysmography*) eftersom infrarött ljus penetrerar längre in i huden och absorberas mindre av hudens melanin, vilket minskar skillnader i avläsningsprestanda för olika hudfärger. I [79] visades att prestandavinsten kan uppnås utan en dedicerad när-IR kamera genom en förhållandevis enkel modifiering av en vanlig RGB-kamera med ett optiskt filter.

5.5.1.2 Termiska infraröda kameror

Kameror inom det termiskt infraröda (TIR) våglängdsområdet (8-12 μm) är vanligt för mätningar av temperaturvariationer för att exempelvis mäta andningsfrekvens med stor precision. Detta görs vanligen genom att analysera variationer i temperatur kring näsa eller mun som följer av att personer andas ut varmare luft än de andas in. En utmaning med tekniken är att lokalisera rätt område kring näsa och mun och stabilisera bilderna digitalt så att den spatiella överensstämmelsen mellan på varandra följande bildrutor blir tillräckligt hög. Metoden fungerar ofta bra i kontrollerade miljöer, t.ex. på sjukhus där kamerans position i förhållande till personen kan hållas maximalt gynnsam. I sådana uppställningar är också upplösningen i bilderna hög i förhållande till avståndet till personen, vilket underlättar bildstabiliseringen, som med moderna tekniker vanligen kan hållas under en pixel. Termiska kameror har en avsevärt lägre upplösning och synfält jämfört med visuella kameror, vilket kan ge begränsningar i exempelvis mätavstånd.

Fjärravläsning med denna teknik i en stökig utomhusmiljö är sannolikt väsentligt svårare. Den förutsätter att området närmast runt näsa och mun syns, vilket inte är fallet om en skadad person ligger med ansiktet nedåt eller på annat sätt bort från sensorn. Dessutom kan okontrollerade temperaturvariationer i omgivningen i kombination med eventuell smuts, blod och liknande i personens ansikte göra det svårt att registrera de små skillnaderna. Principen bör dock fungera även om sensorn inte kan observera själva ansiktet utan endast området framför detta, där in- och utandningsluften flödar, så länge avståndet är litet. En nyckelfunktion för en markrobot eller UAV blir då att lokalisera detta område och att positionera sensorn så fördelaktigt som möjligt.

5.5.1.3 Radarsystem

Radarteknik kan användas för att bland annat detektera och karakterisera små kropps rörelser. Radarsystem har använts för att detektera levande offer gömda under rasmassor efter t.ex. jordbävningar.⁷⁰ Tekniken bygger på dopplerteknik och påstås vara kapabel att hitta hjärtslag och avgöra huruvida de verkligen

⁷⁰ <https://www.nasa.gov/jpl/finder-search-and-rescue-technology-helped-save-lives-in-nepal>

kommer från en människa och inte ett mindre djur. Denna typ av system skulle kunna användas som hjälp på en krigsskadeplats för att hitta livstecken och mäta vitalparametrar. Radar för detektion av livstecken och mätning av vitalparametrar är långt ifrån en ny teknik [80-82], men den utgör vid triagering i fältmässiga förhållanden en stor utmaning som ligger i att utveckla portabla system med högt signal-till-brus-förhållande (SNR) och robusthet mot störningar. Detektion av andning och andningsfrekvens i en triagesituation bör kunna fungera förhållandevis väl då radarsensorer kan detektera bröstorgans rörelse även i samband med små andningsrörelser. I exempelvis [83] presenteras ett känsligt radarsystem för mätning av hjärtats rörelser och därmed personens hjärtfrekvens. Systemet uppges kunna användas upp till drygt två meter från personen, vilket i sig underlättar för användning under fältmässiga former. Dock är systemet fortfarande på experimentstadiet där försök genomförs i kontrollerade laboratoriemiljöer.

Mycket forskning sker för att använda radarsensorer i kliniska sammanhang för mätning och övervakning av andning, bland annat har UWB-system (eng. *ultra-wideband*) visats möjliggöra en snabb och förhållandevis robust metod för mätning av andningsfrekvens på försökspersoner i olika kroppsställningar och i situationer där försökspersoner inte är helt stilla under mätförloppet [84]. Försöksmiljön var dock kontrollerad och inga försök genomfördes explicit med personer som bar annat än tunna klädesplagg, även om radarns egenskaper att ”se igenom” kläder på ett helt annat sätt än elektrooptiska sensorer gör dem avsevärt mindre känsliga för sådant. Radarsignaler kan dock störas och förvanskas av förekomsten av starkt reflekterande material, varför det bör vara särskilt intressant att undersöka sådana tekniker i sammanhang där t.ex. metall kan förväntas förekomma i scenen.

5.5.1.4 Akustiska sensorer

Några forskningsresultat har publicerats de senaste åren som påvisar möjligheten att mäta rörelser och egenskaper i inre organ i kroppen med ultraljud. I [85] beskrivs ett tillvägagångssätt för kontaktfri mätning av lungrörelser, varvid bröstväggens rörelse mäts och översätts till indikatorer för lungfunktion, som i sin tur kan användas för diagnostisering och uppföljning av sjukdomstillstånd (astma, KOL etc). Majoriteten av de publicerade studierna förutsätter en kontrollerad miljö och samarbetsvilliga försökspersoner och det är därmed fortfarande osäkert hur akustiska metoder presterar under fältmässiga förhållanden med bakgrundsljud och militär personal som bär flera lager kläder, kroppsskydd etc.

5.5.1.5 AI-baserad sensordataanalys

Inom medicinsk teknik – liksom inom snart sagt alla andra områden – har modeller baserade på olika typer av djupinlärning (eng. *Deep Learning*, DL)

visat sig väldigt kapabla jämfört med traditionella metoder. Anledningen är att traditionella metoder kräver avancerad förbehandling av data och djupgående expertis för att extrahera de mest informationsbärande eller bäst särskiljande egenskaperna. Detta har gång på gång visat sig vara väldigt svårt; det är helt enkelt väldigt svårt för människor att överblicka stora datamängder och se samband och skillnader mellan olika element i data. Djupinlärningen tar i princip bort det första egenskapsextraktionssteget på så sätt att datorn själv ”lär sig” att förbehandla data på det sätt som ger bäst prestanda. Fokus flyttas från behov av domänexpertis till behov av stora mängder träningsdata.

I tillämpningar där det finns väldigt stora mängder träningsdata går det nästan inte att hitta en tillämpning där DL inte presterar bättre än klassiska särdrags- eller filterbaserade metoder. I [86] går författarna igenom fler än 30 DL-metoder för fjärravläsning av hjärtfrekvens som ofta presterar i paritet eller bättre än vanliga metoder. Typiska skattningsfel ligger runt 2-5 hjärtslag per minut, men ökar till uppåt 10 för videor av dålig kvalitet (hårt komprimerad webbkameravideo).

5.5.2 Metoder

I detta avsnitt presenteras ett antal olika metoder som använts för att detektera vitalparametrar och triageindikatorer på distans.

5.5.2.1 Detektion av objekt och förmåga att gå

En grundläggande funktion som behövs vid robotassisterad triage är att den autonoma enheten är kapabel att detektera vad som är en människa och vad som inte är det. Systemet behöver klara s.k. objekt-detektion för att dels veta vad som är åkbar terräng alternativt möjligt att landa på så att den inte t.ex. kör över en människa, men dels även för att veta vilket område, s.k. ROI (eng. *region of interest*). den skall försöka detektera vitalparametrar på. Typiska ROI som möjliggör estimeringen av vitalparametrar är områden på ansiktet eller bröstskorgen. Systemet bör också kunna klara av att följa olika individer när de förflyttar sig. Vidare, för att inte räkna samma individ flera gånger, behöver systemen även kunna känna igen individerna, dvs. uppfatta om har ”sett” en individ tidigare eller inte, om det är så att de försvinner från sensorupptagningsområdet och sedan dyker upp igen. Detta kan ske när exempelvis en UAV förflyttar sig mellan olika positioner. Helst ska systemen även kunna göra detta både dagtid och vid goda ljusförhållanden samt nattetid och vid totalt mörker. Liknande tekniker bör även kunna användas för att se om en skadad kan följa enklare instruktioner som att vinka.

Inom bildsegmenterings- och objektdetektionsområdet skedde stora framsteg under 2010-talet då forskare började applicera djupinlärning på bilddatabaser

såsom MNIST, MS COCO och ImageNet [87-89]. Datormodellernas objektigenkänningsförmåga blev så bra att den mot mitten av 2010-talet passerade den mänskliga förmågan i flera tillämpningar [90]. Utmaningar med flera sådana system har dock varit behovet av stora mängder uppmärkt data, att hantera icke tidigare observerade klasser, långa träningsstider samt alltför tillrättalagda bilder i databaserna som gör att det kan vara svårt att använda en applikation i ett verkligt scenario [91,92].

Objektdetektion på strömmad data, s.k. målföljning, medför ytterligare utmaningar såsom att hålla en detektion stabil mellan enskilda bilder, känna igen tidigare observerade objekt samt följa multipla objekt samtidigt [93]. Ännu svårare blir det när även kameran rör på sig. För att driva utvecklingen framåt har tävlingar som *VisDrone challenge* skapats [94]. De går ut på att detektera flera människor och objekt samtidigt samt följa dem i bilder och videos tagna från UAV:er. Ett framgångsrikt djupinlärningssystem för detektion och följning av människor som nu är några år gammalt är YOLO (eng. *You only look once*) [95]. YOLO har gett upphov till en hel familj av algoritmer specialiserade på olika delutmaningar och som för varje gång även lyckats bli snabbare, vilket gör att de kan detektera och följa multipla individer med rörliga sensorer i realtid. KAPAO är ett sådant system [68]. För vitalparameterdetektion är det dock inte tillräckligt att kunna följa en människa i realtid, utan en förutsättning är även att algoritmerna kan detektera ansiktet i en bild och även delar av ansiktet. På senare tid har stora framsteg skett inom området med hjälp av djupinlärning [96]. Det finns även ansatser som använder sig av ljud- och radarbaserad data som kan detektera och följa personer som ligger under bråte eller rör sig bakom en vägg [97]. Det är dock osäkert om dessa metoder går att använda för detektion av vitalparametrar om det finns hinder i vägen.

5.5.2.2 Detektion av andning

En viktig triageindikator är detektionen av andning. För att detektera huruvida en skadad soldat andas eller inte har ett flertal metoder utvecklats, varav de fyra vanligaste är [98,99]:

- akustiska metoder där en sensor lyssnar efter andningsljud
- temperaturbaserade metoder där temperaturen på den utkommande luften runt mun och näsa mäts
- rörelsebaserade metoder där bröstorgens rörelser mäts
- metoder baserade på hjärtaktivitet.

De ljudbaserade ansatserna har visat på relativt goda resultat men kräver att mikrofonen placeras nära personens mun, på avstånd från några decimeter upp till en meters avstånd [100,99]. Försök att spela in och klassificera ljud har även gjorts med mobiltelefoner [101]. Idag finns även kommersiella appar för andningsmätning som använder sig av mobilens mikrofon. Utmaningen med de

ljudbaserade ansatserna är att de ofta är känsliga för andra ljud i omgivningen och de fungerar därför bäst i kontrollerade miljöer.

De temperaturbaserade metoderna använder sig av termiska kameror och nyttjar fluktuationerna i temperatur för att mäta andningsfrekvens samt i vissa fall även klassificera andningsmönstren [102,103]. Ett exempel redovisas i [104], där 98-99% procent korrekt detekterade andetag uppnåddes. Metoderna fokuserar primärt på området runt näsborrarna och är beroende av att ansikten kan detekteras och följas då metoderna annars är mycket känsliga för rörelser hos individen [105]. Ska metoden kunna användas i en verklig tillämpning måste ROI-följningen göras i realtid eller snabbare. Vissa ansatser kombinerar användningen av termiska kameror med vanliga optiska-kameror, då ROI-följningen blir mer tillförlitlig på RGB-bilder [106]. Nackdelen är att användningsmöjligheterna under dåliga ljusförhållanden försämras.

Rörelsebaserade metoder uppvisar störst bredd både vad gäller användningen av antal sensorer samt typ som de fokuserar på [107, 99]. En fördel med de rörelsebaserade metoderna är att de använder sig av ett större område på kroppen som de kan mäta andningsrörelser på, vilket gör dessa mer robusta för användning i ett verkligt scenario. Forskare har med hjälp av djupinlärning både lyckats mäta andningsfrekvens på personer som rör sig samt på flera personer samtidigt [108-110]. För inhämtning av andningsrörelser har forskare använt sig av djupkameror, optiska kameror och till och med Ultra wideband radio (IR-UWB) [111-114].

De ansatser för mätning av andningsfrekvens på distans som använder sig av hjärtfrekvens baseras på en teknik som kallas för fotoplethysmografi, PPG (eng. *Photoelectric Plethysmography*), vilken föreslogs redan på 1930-talet [115]. För distansmätning används avståndsfotoplethysmografi (rPPG), som går ut på att en extern ljuskälla används för att mäta variationer i ljusreflektioner på huden. Beroende på vilket frekvensband som används går det att mäta olika djupt i huden och på så sätt öka noggrannheten [116,117].

5.5.2.3 Detektion av hjärtfrekvens och syresättning

Den vanligaste metoden för distansdetektion av både hjärtfrekvens och syresättning är att använda rPPG med optiska (RGB) kameror. Vid signalbehandling av det reflekterade ljuset har forskare upptäckt att den gröna kanalen fungerar bäst för detektion av hjärtfrekvens och den röda för detektion av syresättning [118,119]. De flesta ansatser fungerar bäst på ett maxavstånd runt en meter [120]. Med hjälp av djupinlärningsmetoder har forskare lyckats förbättra felmarginalerna avsevärt [120]. Dock kvarstår utmaningar som skiftande ljusförhållanden, mätområden som har stora rörelseskiftningar samt hantering av mörkare hudtyper [120]. För att hantera utmaningarna har vissa nyare ansatser använt sig av generativa modeller för att förbättra bildkvaliteten både för träning av modeller samt vid den senare bildanalysen [121,122].

Ett öppet mjukvarupaket för detektion av hjärtfrekvens på distans med implementationer av flera rPPG-algoritmer för användning med vanliga RGB-kameror publicerades nyligen [123]. Vissa forskare har även lyckats använda sig av data från alternativa sensorer, såsom infraröda- (NIR) och djupkameror (MS Kinect), som skulle kunna fungera i situationer med sämre ljusförhållanden för att detektera puls [124, 112]. Forskargrupper har även visat på möjligheten att estimeras syresättning på avstånd med hjälp av rPPG-metoder [125-127].

En konceptstudie redovisas i [128] där ultraljud används för mätning av hjärtrytm. Studien påvisar visserligen möjligheten att mäta hjärtfrekvens med god noggrannhet, men det aktuella mätsystemet och dess högtalares ljudformningsmekanism begränsar mätningarna till intervallet 60-150 slag per minut.

5.5.2.4 Detektion av skador och kraftiga blödningar

Skador med katastrofala blödningar som följd är en stor orsak till dödsfall som hade kunnat förhindras och det är därför kritiskt att upptäcka dessa tidigt. Handlar det om invärtes blödningar finns det i dagsläget få metoder som skulle kunna användas för distansdetektion, speciellt om den skadade har full stridsmundering på sig. Det har dock börjat dyka upp djupinlärningsmetoder som används för att detektera områden med blod och blödningskällan vid laparoskopiska ingrepp [129]. Är det en extern blödning finns det klassiska bildanalysmetoder som kan användas för att skilja mellan blod och andra röda vätskor såsom ketchup och färg. De är dock inte robusta nog för att kunna hantera videofilmer med skiftande ljusförhållanden, där individen och kameran kanske rör sig, och bättre metoder behövs således. En intressant ansats är ett kirurgiskt verktyg som autonomt detekterar blödningar och flödesriktning [130].

Att klara av att identifiera skador orsakade av verkanseld eller passiva vapen som minor är något som ett autonomt triageringssystem skulle kunna ha nytta av vid prioriteringen av skadade. Rent tekniskt är det idag möjligt att träna upp en klassificeringsmodell som skulle kunna detektera saknade kroppslemmar eller andra typiska skador. Utmaningen ligger i att hitta en tillräcklig datamängd som går att använda för att träna upp en sådan modell. Det är möjligt att viss data går att simulera eller generera genom olika dataaugmenteringsmetoder [131]. Syntetiska data har exempelvis använts för att träna en djupinlärningsmodell som kan detektera vitalparametrar [132]. Idag finns det generativa modeller som klarar av att generera mycket verklighetstroga bilder [133]. Frågan kvarstår dock om genererad data går att använda för träning av en skadedetektionsmodell som kan detektera verkliga skador i fältmässiga förhållanden.

5.6 Möjligt koncept för robotassisterad triage

I perspektivet 2025 till 2030 är det inte troligt att autonoma obemannade triagefarkoster (UAV:er eller markrobotar) har nått en tillräcklig teknisk mognadsgrad för att med tillräcklig tillförlitlighet genomföra triage autonomt på skadeplatsen. Livräddande interventioner på skadeplatsen utgör även en betydande utmaning för robotiserade system, vilket medför att sjukvårdspersonal fortsatt kommer att behövas där. Utvecklingen av obemannade triagefarkoster som kan *stödja* en sjukvårdsgrupp vid arbetet på skadeplatsen bedöms dock ligga närmare i tiden.

Ett möjligt koncept är att sjukvårdsgruppen i förväg skickar ett par UAV:er till skadeplatsen som automatiskt skapar en lägesbild som en del av skadeplatsinventeringen (antal skadade och deras positioner, egna enheter och eventuella hot, framryckningsvägar m.m.). I framtiden kan även en obemannad logistikfarkost flyga till skadeplatsen och där släppa ned markrobotar som kan påbörja arbetet innan sjukvårdsgruppen anländer. Detta kan även vara användbart vid CBRN-händelser eller i områden där kraftiga strider fortsatt pågår. Informationen presenteras automatiskt för sjukvårdsgruppen på en skärm i fordonet och på ett bärbart ledningsstödssystem. En realtidsvideo över området kan även presenteras som stöd. En UAV skapar och uppdaterar lägesbilden medan den andra påbörjar estimering av vitalparametrar på skadade som ligger eller sitter ned. Först försöker UAV:n med sina elektrooptiska sensorer detektera förekomsten av katastrofala blödningar och allvarliga extremitetsskador på dessa skadade. Om kraftiga blödningar upptäcks, eller att en skadad inte andas, presenteras varningar i ledningsstödssystemet så att sjukvårdsgruppen direkt när de anländer kan börja triagera dessa och genomföra nödvändiga livräddande interventioner. Stillbilder eller korta videofilmer av dessa skadade kan även presenteras för sjukvårdsgruppen under deras transport till skadeplatsen som underlag för deras planering. Därefter kan sjukvårdsgruppen på distans eller när de anlänt dirigera robotarna till att fortsätta estimerar vitalparametrar på utvalda skadade medan sjukvårdsgruppen genomför triage på de allvarligast skadade. UAV:er och markrobotar kan då exempelvis detektera arm- eller benbrott, bedöma neurologiska funktioner genom att ge instruktioner och tolka den skadades respons. De försöker även automatiskt estimerar andningsfrekvens, puls och syresättning på skadade med sina sensorer. Om allvarliga avvikelser upptäcks eller sensordata bedöms vara otillförlitliga skickas varningar till sjukvårdspersonalen.

Vid misstanke om kontaminering med exempelvis kemiska stridsmedel kan sjukvårdsgruppens sjuksköterska, eller läkare på bataljonens samlingsplats, på distans med hjälp av video försöka identifiera toxidrom. Robotar kan där även möjliggöra telemedicin på distans (telementoring, där legitimerad personal

guidar exempelvis en stridssjukvårdare vid omhändertagandet [3]) vilket kan vara extra värdefullt på grund av den troliga bristen på legitimerad sjukvårdspersonal i det kontaminerade området.

6 Etiska och juridiska frågeställningar

En viktig aspekt inom etiken handlar om att försöka klargöra hur etiska dilemman bör hanteras. Resonemang om komplexa etiska dilemman utmynnar dock sällan i ett handlingsalternativ som är entydigt rätt eller fel. Frågor om rätt och fel är en moralfilosofisk fråga och adresseras under området normativ etik. Etiska frågeställningar kan delas in i olika underområden, varav tre områden som berör sjuktransporter med obemannade farkoster och automatiserade triagestöd är den medicinska etiken (som ofta ses som en del av bioetiken), krigets etik och teknologins etik. I detta avsnitt diskuteras de bioetiska frågeställningarna.

Tre dominerande områden inom den abstrakta teorin är konsekvensetik (utilitarism, där en handlings konsekvens avgör om den är moraliskt riktig eller felaktig), pliktetik (deontologi, där system av plikter och rättigheter avgränsar det moraliskt felaktiga) och dygdetiken (fokuserar på vilken sorts person vi bör vara, där vissa dygder anses vara moraliskt riktiga). I praktiken kombineras ofta olika principer för att undvika extremfall, exempelvis genom att kombinera utilitarismen med en rättvisepprincip.⁷¹ Praktiskt inriktade etikforskare försöker utveckla metoder och verktyg som kan bemöta direkta behov. [3]

6.1 Medicinens etik

Den första medicinetiska eden (den hippokratiska eden) beskrevs redan för snart 2500 år sedan.⁷² Dess huvudbudskap sammanfattas numera ofta som ”aldrig skada, om möjligt bota, ofta lindra, alltid trösta”. Läkarförbundet har sammanställt nitton etiska regler som är avsedda att vägleda läkare i deras arbete. Den första regeln anger att ”alltid ha patientens hälsa som det främsta målet och om möjligt bota, ofta lindra och alltid trösta”.⁷³

I mitten av 1980-talet utvecklades fyra medicinetiska principer avsedda att ge en moralisk vägledning för hälso- och sjukvården [134].⁷⁴ Dessa har fått ett stort genomslag och principerna är: (i) icke-skadaprimipen (eng. *nonmaleficence*), godhetsprincipen (eng. *benevolence*), autonomiprimipen (eng. *autonomy*) och rättviseprimipen (eng. *justice*). De dominerande områdena, huvudinriktningarna och medicinetiska principerna sammanfattas i figur 6.1.

⁷¹ www.forskning.se/2013/11/27/vilka-etiska-filosofier-finns/

⁷² www.sls.se/etik/etiska-koder/den-hippokratiska-eden/

⁷³ slf.se/rad-och-stod/etik/lakarforbundets-etiska-regler/

⁷⁴ www.healthcareethicsandlaw.co.uk/intro-healthcare-ethics-law/principlesofbiomedethics



Figur 6.1: Biomedicinsk etik, teoretiska huvudinriktningar och dess fyra huvudprinciper.

Utmaningen med ovanstående principer är att de i vissa situationer kan ställas mot varandra och att det ofta kan saknas tydlig vägledning om hur sådana inbördes konflikter ska hanteras. Resonemang rörande lite mer komplexa etiska dilemman utmynnar dock sällan i ett handlingsalternativ som är entydigt rätt eller fel. Av dessa anledningar publicerar olika organisationer förtydligande ställningstaganden för vad de bedömer vara ”etiskt försvarbara handlingar”.

De etiska och moraliska frågeställningarna som uppstår specifikt vid civila masskadescenarion och i krigssituationer vid masskadeutfall är ofta komplexa och känsloladdade då de kopplar till individernas grundläggande värderingar. I dessa situationer kommer bristen på resurser medföra att prioriteringar behöver göras, vilka kan ha en kraftig känslomässig påverkan på sjukvårdspersonalen. Det är då av stor vikt att de prioriteringar som görs är transparenta, följer en förankrad metodik och att de är etiskt försvarbara och accepterade.

6.1.1 Continuum-of-care

Natodoktrinen för medicinsk evakuering anger att vårdnivån i varje steg av vårdkedjan bör vara likvärdig eller högre än i föregående nivå (eng. *continuum of care*) [14].⁷⁵ Det inkluderar normalt även den nivå på omhändertagandet som ges vid sjuktransporter. FN definierar CASEVAC som evakuering av skadade från skadeplats till närmaste lämpliga MTF [135]. Även FN anger i sin policy för CASEVAC att skadeevakueringen bör ske som ett *continuum of care*.⁷⁶ Inom ramen för FN-uppdrag definieras MEDEVAC som evakuering mellan två MTF (transport från Role 1 MTF eller högre).

Den robotiserade, eller autonoma, sjukvårdsförmågan kommer inte kunna erbjuda motsvarande vårdnivå som legitimerad sjukvårdspersonal i ett för syftet utrustad transportfordon kan ge under ett stort antal år framöver. Det innebär att

⁷⁵ “Evacuation of casualties is a fundamental aspect of medical support. Movement of casualties is not just transportation to a suitable medical treatment facility (MTF) but is part of a continuum of patient treatment and care, and is therefore, a medical responsibility. At no point in the chain of evacuation must the level of care be reduced below that received at the previous MTF.”

⁷⁶ “It is a continuum of care that supports a resuscitative process from the POI, through evacuation, into surgery and on to intensive care where this is required.”

obemannade farkoster för att kunna uppfylla denna princip antingen behöver kunna transportera även sjukvårdspersonal och ha erforderlig sjukvårdsutrustning ombord, alternativt att obemannade farkoster används uteslutande för CASEVAC innan den skadade omhändertas på en MTF. Fördelarna med att använda obemannade farkoster i ett scenario där sjukvårdspersonal medföljer är begränsade och det närmaste decenniet kommer obemannade sjuktransporter (CASEVAC) utgöra den primära användningen som utvecklas och utvärderas internationellt. FN policy anger att CASEVAC bör genomföras med det mest effektiva transportmedlet och att detta även kan medföra att *alla typer av tillgängliga transportmedel* kan komma att användas [135].

Inom Nato pågår även ett arbete som syftar till att möjliggöra och underlätta en framtida användning av olika typer av obemannade farkoster för skadeevakuering, där fokus det närmaste decenniet är mot CASEVAC.⁷⁷ En tidigare Natogrupp studerade för knappt tio år sedan användningen av UAV:er för CASEVAC och gjorde bedömningen att så länge risken inte ökar för den skadade, är det juridiskt, etiskt, kliniskt och operationellt tillåtet att genomföra sjuktransporter med UAV [136,29].⁷⁸

De etiska frågeställningarna bedöms inte hindra att obemannade farkoster, exempelvis en UGV som används för att bära en grupps utrustning, även kan extrahera en skadad soldat från skadeplatsen och förflytta denne i skydd autonomt. Detta kan vara aktuellt framförallt när gruppen befinner sig mitt i en eldstrid och det är förenat med stora risker att ta sig till den skadade och släpa den till en skyddad position (livräddningsfasen).

Det finns även goda argument för att användandet av samma UGV för att förflytta den skadade till kompanisamlingsplatsen (om alternativet exempelvis är att fyra soldater bär den skadade dit på bår) är etiskt försvarbart. Den skadade kan vid obemannad CASEVAC nå kompanisamlingsplatsen snabbare och med möjlighet att ha ett visst skydd mot exempelvis splitter och finkalibrig eld under transporten. Den skadade bör åtföljas av en eller flera soldater som ger skydd och som även i vissa fall kan genomföra begränsade livräddande interventioner på motsvarande sätt som om den skadade transporteras medelst bår (såsom att applicera tourniquet och frigöra andningsvägar vid behov).

Vid stora skadeutfall där de främre sjukvårdsresurserna är underdimensionerade jämfört med sjukvårdsbehovet och sjuktransportresurserna för medicinsk evakuering (MEDEVAC) är otillräckliga kan det uppstå situationer där patienten kan gynnas av att transporteras vidare i sjukvårdskedjan med en lägre vårdnivå än vad som normalt kan erbjudas på den skadades nuvarande plats. En sådan

⁷⁷ HFM RTG-332 *Development and Implementation of Autonomous Transport and Medical Systems for Casualty Evacuation*.

⁷⁸ "The use of UAS for CASEVAC is ethically, legally, clinically, and operationally permissible, so long as the relative risk to the casualty is not increased."

transport skulle då i undantagsfall kunna genomföras med obemannade farkoster, men i sådana fall baserat på en relativ riskanalys som indikerar att patienten gynnas av att snabbt transporteras istället för att vänta på vård, med ett begränsat medicinskt omhändertagande, på nuvarande vårdnivå. Det finns i sådana situationer argument för att sjuktransporter med obemannade farkoster kan vara etiskt försvarbara så länge beslutet tas utifrån vad som är bäst för patienten.

En kritisk aspekt är att varje sjuktransport som genomförs med obemannade farkoster beslutas utifrån en bedömning av att detta i den förevarande situationen är det bästa alternativet för den skadade. En relativ riskanalys bör då genomföras inför en obemannad sjuktransport, där riskerna med de olika alternativen vägs mot varandra och där riskerna med fördröjd evakuering på grund av otillräckliga sjuktransportresurser inkluderas. En dylik relativ riskanalys kan kräva en god kunskap om riskerna med olika typer av evakueringsalternativ utifrån skadepanoramata, estimerade väntetiderna för olika evakueringsalternativ, de medicinska resurserna och antalet skadade (och komplexiteten på deras skador) på nuvarande vårdnivå och därmed vilken vårdnivå som den skadade kan förväntas få under väntan på evakuering. Denna riskanalys bör genomföras av exempelvis en sjuksköterska i sjukvårdsgruppen, då denne förväntas kunna ha en tillräcklig kunskap.

6.1.2 Triage på skadeplatsen vid masskadeutfall

Definitionerna av vad som utgör en katastrofsituation (eng. *disaster*) och en masskadehändelse (eng. *Mass-Casualty Incident, MCI*) varierar till viss del i det civila samhället, men grunden är att de tillgängliga medicinska resurserna är otillräckliga vid sådana situationer. IFRC (*International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies*) definierar en katastrof som en akut och oförutsedd händelse som genererar en allvarlig störning av samhällets funktion och som överstiger dess egen kapacitet att hantera situationen.⁷⁹ På motsvarande sätt definieras en MCI typiskt som en händelse som under en kort tidsperiod genererar avsevärt mycket fler patienter än vad som de lokalt tillgängliga resurserna kan hantera med sina vanliga rutiner. De kan orsakas av bland annat naturkatastrofer, terroristattacker eller större olyckor. Vid dessa händelser krävs att även den civila sjukvården anpassar sig till den rådande situationen i form av bristande sjukvårdsresurser och sjuktransportkapacitet.

Prioriteringar och triagering genomförs regelmässigt både på sjukhus och prehospitalt, men syftet är under normala omständigheter att identifiera de patienter som har störst behov av vård eller vilken typ av vård olika patienter behöver. På exempelvis akutmottagningar prioriteras de patienter som har de allvarligaste skadorna eller sjukdomstillstånden. Normalt utgår prioriteringarna

⁷⁹ www.ifrc.org/what-disaster

av resurser då utifrån behov, där den som har störst behov av hjälp tilldelas resurser.

Den stora skillnaden ur ett etiskt perspektiv som uppkommer vid en allvarlig katastrof eller masskadesituation där sjukvårdspersonal behöver agera under exceptionella omständigheter är att motsvarande prioritering kan leda till att de allvarligaste fallen med låg sannolikhet till överlevnad allokeras så stor del av de tillgängliga resurserna att skadade som initialt hade mindre allvarliga skador inte kan ges den vård de behöver för att klara sig. I dessa scenarion anges därför ofta att fokus bör ändras till att göra så mycket nytta som möjligt för gruppen av skadade som helhet. Detta kan innebära att de allvarligast skadade, där bedömningen görs (av de som utför triage) att de har liten chans att överleva och där ett omhändertagande är associerat med ett stort resursbehov (personal, sjukvårdsmaterial), istället prioriteras ned. De kraftigt begränsade medicinska resurserna allokeras istället till allvarligt skadade som har god chans att överleva. Denna prioriteringsprincip benämns som utilitarism, den maximerande principen, där syftet är att göra så mycket nytta som möjligt med begränsade resurser för den samlade gruppen av skadade. World Medical Association (WMA) har i flera utlåtanden meddelat att de bedömer att det är etiskt försvarbart för medicinsk personal att i katastrofsituationer genomföra prioriteringar i omhändertagandet.⁸⁰ Erfarenheter från olika katastrofsituationer pekar dock på att det finns ett motstånd hos civil sjukvårdspersonal mot att vid triagering på skadeplatsen tilldela en mycket allvarlig skadad prioritet 4 (vänteläge). Motsvarande känslomässiga aspekter bör förväntas även i militära scenarion där det är sannolikt att de som genomför triage även känner de skadade. Detta dilemma blir sannolikt än svårare att hantera då även fientliga skadade behöver omhändertas samtidigt. Utbildning och träning på triage vid masskadeutfall bedöms vara nödvändigt för att effektivt och professionellt hantera dessa svåra situationer.

6.1.3 Robotassisterad triage

En relevant etisk frågeställning som behöver analyseras när det gäller robotassisterad triage på skadeplatsen rör huruvida en maskin ska tillåtas att placera skadade i olika prioritetsgrupper då det påverkar omhändertagandet och väntetid för sjuktransport för den skadade. Är soldaternas och det medicinska samfundets förtroende för tillförlitligheten hos roboten när det gäller att göra korrekta bedömningar tillräckligt hög? Är risken för felaktiga estimat av vitalparametrarna (exempelvis att andning inte kan detekteras) för hög för att möjliggöra automatiserad triage? Ett alternativ som sannolikt införs först är att

⁸⁰ "The physician must act according to the needs of patients and the resources available. He/she should attempt to set an order of priorities for treatment that will save the greatest number of lives and restrict morbidity to a minimum." (www.wma.net/policies-post/wma-statement-on-medical-ethics-in-the-event-of-disasters/)

roboten endast ger underlag för bedömningar, men att triagering genomförs av människor. Den ultimata frågan i detta sammanhang är förstås huruvida en robot ska kunna tilldela en skadad prioriteringsnivå svart (död) eller blå (döende)?

6.1.4 Anpassad vårdnivå

Socialstyrelsen har genom ett regeringsuppdrag tilldelats uppgiften att leda arbetet med att utveckla gemensamma civil-militära prioriterings- och vårdprinciper för katastrofsituationer, kris och krig. Dessa kommer vara viktiga för att nå en bred acceptans för det militära konceptet med ett högflödessystem (med reducerad vårdnivå) vid de stora skadeutfall som kan förväntas vid en väpnad konflikt med en kvalificerad motståndare.

Vid framtagandet av nationella riktlinjer för behandling av olika sjukdomstillstånd baseras dessa på en avvägning av risker och nytta för patienterna. Samhällets resurser är dock begränsade och även ekonomiska hänsynstaganden omhändertas i dessa riktlinjer.⁸¹ Det etiska ställningstagandet för dessa prioriteringar kan (helt eller delvis) motiveras av behovet av att med begränsade medel göra så mycket nytta för befolkningen som helhet (utilitarism kombinerat med rättvisepincipen). Liknande prioriteringar görs vid framtagandet av nationella och regionala vårdprogram. Det finns därmed redan i normalläget en anpassning av omhändertagandet till samhällets begränsade resurser. Framtagandet av gemensamma prioriterings- och vårdprinciper bör kunna motiveras med liknande etiska resonemang och kan förhoppningsvis nå en acceptans i det medicinska samfundet och hos allmänheten.

Det är dock extremt viktigt att sådana vårdprinciper inte leder till att trauma-omhändertagandekapaciteten underdimensioneras medvetet genom att exempelvis ge möjlighet att definiera sjukvårdsbehov som marginellt överskrider normalläget som en katastrofsituation. Den pågående pandemin har tydligt påvisat att marginalerna i den nuvarande akuta omhändertagandeförmågan är för små och att systemet ofta är ansträngt redan i normalläget.

6.1.5 Etiska aspekter vid robotassisterad triage

Är det etiskt försvarbart att tillåta robotar att genomföra en prioritering av skadade på skadeplatsen utifrån de brister som förväntas finnas i deras förmåga att med extremt hög tillförlitlighet estimerar vitalparametrar, såsom andningsfrekvens och puls på distans? Bör de istället under en överskådlig framtid endast ge rekommendationer till exempelvis sjukvårdsgruppen och föreslå i vilken ordning de skadade bör omhändertas? Ett specifikt etiskt

⁸¹ "Nationella riktlinjer är ett stöd för beslutsfattarna så att de kan fördela resurserna efter befolkningens behov och så att de ger störst möjliga nytta." (www.socialstyrelsen.se/regler-och-riktlinjer/nationella-riktlinjer/om-nationella-riktlinjer/)

dilemma kan antas vara om en robot ska få ges mandat att placera en skadad i prioritetsgrupp 4 (vänteläge, där palliativ vård ges). Det är sannolikt enklare att låta en robot tilldela prioritetsgrupp 1, medan de endast får ge förslag på högre grupper.

6.2 Juridiska aspekter

Generella juridiska aspekter för AI-tekniker inom försvarsmedicin utifrån bland annat Hälso- och sjukvårdslagen (HSL), patientsäkerhet, EU:s dataskyddsförordning, medicintekniska produkter och Försvarsmaktens stöd till det civila samhället diskuteras på en övergripande nivå i [3]. Nedan beskrivs några identifierade aspekter från HSL och internationell humanitär rätt upp för diskussion utifrån möjlig påverkan på sjuktransporter som genomförs med obemannade farkoster och masskadesscenarion där sjukvårds- och transportresurserna är avsevärt lägre än behoven.

6.2.1 Hälso- och sjukvårdslagen

Hälso- och sjukvårdslagen (HSL) anger (3 kap. 1 §) att ”vården ska ges med respekt för alla människors lika värde och för den enskilda människans värdighet. Den som har det största behovet av hälso- och sjukvård ska ges företräde till vården.” I HSL (6 kap. 1 §) ges även bemyndigande till regeringen att meddela specifika föreskrifter rörande hälso- och sjukvården när Sverige är, eller har varit, i krig eller vid krigsfara, eller då det är krig utanför Sveriges gränser.

De prioriteringar som görs vid katastrofmedicinska insatser där de allvarligast skadade med stort vårdbehov och liten chans att överleva placeras i en väntekategori kan eventuellt anses stå i konflikt med HSL (3 kap. 1 §). Detta bör omhändertas i arbetet med gemensamma vård- och prioriteringsprinciper då det kan finnas andra lagrum som reglerar detta eller om det kan hanteras genom att utfärda föreskrifter. I fredstid kan regeringen, eller av regeringen utpekad myndighet, även meddela föreskrifter ”om det ur ett nationellt perspektiv finns behov av katastrofmedicinska insatser”.

Automatisk administrering av mediciner är intressant vid obemannade sjuktransporter då det kan minska skillnaden mellan CASEVAC och MEDEVAC. Deterministiska algoritmer (regler) kan i ett första läge utvecklas, som baseras på kroppsburna sensorer för att ge information om när medicin bör administreras till den skadade.⁸² I ett första läge kan sådana algoritmer ge

⁸² På sikt kan även AI-baserade algoritmer baserade på exempelvis maskininläring (eng. *machine learning*, ML) utvecklas, som potentiellt skulle kunna bli mer träffsäkra. Dessa bedöms dock vara svårare att få godkända än algoritmer som implementerar de samlade medicinska erfarenheterna. Dessa algoritmer är även beroende av träningsdata, vilket kan erhållas från kroppsburna sensorer under en övergångsperiod där algoritmer som baseras på deterministiska regler används.

varningar och beslutsunderlag till medicinsk personal som på distans (telemedicin) beslutar om att läkemedel ska ges. Medger dagens regelverk att mediciner administreras automatiskt där algoritmer fattar beslutet eller att beslut fattas på distans av legitimerad sjukvårdspersonal? Om inte, vilka ändringar behöver göras för att detta ska bli möjligt?

6.2.2 Krigets lagar

I [3] beskrivs några aspekter rörande hur den internationella humanitära rätten (krigets lagar) påverkar försvarsmedicinska hänsynstaganden.

6.2.2.1 Märkning av sjukvårdsenheter

Alla sjukvårdsenheter bör enligt Genèvekonventionen och dess tilläggsstraktat märkas med det röda korset, vilket även ger dessa rätt till skydd. Detta gäller dock endast dedikerade sjuktransporter som inte används i annat syfte som kan vara skadligt för motparten.

Då majoriteten av de obemannade farkoster som diskuteras i kapitel 4 inte har sjuktransporter som enda uppgift, utan andra logistikuppgifter ofta är de primära, så förväntas obemannade CASEVAC-farkoster inte omfattas av detta särskilda skydd och inte heller använda denna märkning.

En diskussion bör föras om dedikerade sjukvårds-UAV:er som exempelvis hittar skadade personer och utför triage på skadeplatsen kan och bör märkas upp med röda korssymbolen. Det är dock viktigt att denna UAV i sådana fall inte används indirekt eller direkt i en bekämpningskedja, där exempelvis indirekt eld allokeras baserat på identifierade fiendeställningar.

6.2.2.2 Omhändertagande av civila och fientliga kombattanter

Parterna i en konflikt är skyldiga att efter varje strid skyndsamt söka upp och omhänderta alla skadade i området. Ingen åtskillnad får göras mellan egna soldater och sjömän, civila och fientliga kombattanter annat än baserat på medicinska skäl. Obemannade farkoster såsom UAV:er och markrobotar kan potentiellt användas för att snabbare lokalisera skadade och genomföra en enkel första triage innan de kan nås av hjälp, framförallt i högre hotmiljöer.

7 Obemannade sjuktransporter i en svensk sjukvårdskontext

I det här kapitlet ges ett förslag till definition av begreppet obemannad sjuktransport samt utmaningar som kan kopplas till en framtida användning av obemannade farkoster för transporter av skadade.

7.1 Förslag på definitioner

Inom Natogruppen har termen RASEVAC (eng. *robotic and autonomous systems evacuation*) föreslagits för att beskriva en obemannad sjuktransport. Primärt har RASEVAC använts för att beskriva att transporten genomförs med obemannade farkoster (oavsett om den genomförs i form av en CASEVAC eller MEDEVAC och oavsett om den genomförs med en teleopererad eller autonom farkost). Det finns dock ett behov av en svensk definition av begreppet.

Försvarsmakten föreslår använda samlingsbegreppet *obemannad sjuktransport* för att indikera att transporten genomförs med en obemannad farkost. Utifrån dagens tekniskläge kan en obemannad sjuktransport komma att genomföras fjärrstyrt (teleopererat) eller med ökande grad av autonomi. Förflyttningen kan ske helt utan vårdmöjlighet eller med en ökande grad av automatiserad vård. Det kan även i vissa situationer finnas legitimerad personal ombord som genomför omhändertagandet av den skadade under transporten. I [3] beskrivs fyra nivåer av obemannad sjuktransport med varierande nivå av vård under transport:

- CASEVAC med omodifierade logistikfarkoster
- CASEVAC med logistikfarkoster med anpassad nyttolast
- CASEVAC med dedikerad evakueringspod
- dedikerad MEDEVAC-farkost med högkvalificerad automatiserad vård.

Autonom CASEVAC beskriver en transport av skadad/sjuk med tillfälligt iordningställd resurs som genomförs med en autonom farkost. En autonom farkost kan manövrera (och förflytta sig) på egen hand. Autonom CASEVAC utgör därmed en delmängd av obemannad sjuktransport.

I appendix A ges även en ordlista och förklaringar av de vanligast använda begreppen i rapporten.

7.2 Utmaningar

Under arbetet med denna förstudie har ett flertal utmaningar med obemannade sjuktransporter i en svensk militär sjukvårdskontext identifierats. Dessa

Tabell 7.1: Primära identifierade utmaningar med obemannade sjukvårdstransporter (autonom CASEVAC) i en svensk militär sjukvårdskontext.

Typ	Utmaning	Möjlig åtgärd
Juridik	Regelverk som reglerar användningen av obemannade och autonoma farkoster	Avvakta utvecklingen
	Luftrumssamordning för UAV:er	Avvakta utvecklingen
	Automatiserad vård och administrering av läkemedel	Undersök behovet av förändringar i befintliga lagar Se över om/hur utvecklingen av gemensamma katastrofmedicinska vård- och prioriteringsprinciper påverkar
Etik	Principen om obruten vårdkedja	Utveckla kunskap och metodstöd för relativa riskanalyser Se över om/hur utvecklingen av gemensamma katastrofmedicinska vård- och prioriteringsprinciper påverkar
	Möjlighet att ge tröst under transport	Undersök metoder för att ge tröst på distans (video och tal) eller virtuellt (med avatarer)
Metod & organisation	Gemensamma katastrofmedicinska vård- och prioriteringsprinciper för katastrofer och krig	Se över om användningen av obemannade sjuktransporter och robotassisterad triage påverkas av arbetet i pågående regeringsuppdrag
	Relativ riskanalys	Bygg kunskap om risker och utveckla metodstöd Utveckla <i>safe ride standards</i> och implementera anpassade körprofiler och ruttvalsmetoder för att begränsa och kontrollera riskerna
	Gemensam eller dedikerad resurs	Skapa kostnadsunderlag inför avdömning
	Användaracceptans	Skapa förståelse för hur obemannade sjuktransporter kan rädda liv Relativa riskanalyser en viktig faktor Utbildning, övning och metodutveckling i samband med övningar

sammanfattas nedan och i tabell 7.1. Aspekter som rör automatiserad och robotassisterad triage diskuteras i bland annat kapitel 6, men tas inte upp här.

Tekniska utvecklingsbehov som direkt rör de behov som kopplar till försvarsmedicinska tillämpningar, där andra intressenter inte har intresse av att utveckla dessa, diskuteras i 7.3. Generell teknikutveckling kopplat till obemannade och autonoma farkoster bör däremot inte finansieras via de begränsade medel som finns tillgängliga för försvarsmedicinsk forskning och utveckling.

7.2.1 Juridiska aspekter

Två typer av juridiska utmaningar har identifierats, dels regelverk rörande användning av obemannade farkoster generellt och dels aspekter kopplade till automatisk administrering av läkemedel under obemannade sjuktransporter.

7.2.1.1 Regelverk för obemannade farkoster

Det finns olika juridiska regelverk som begränsar användning av obemannade farkoster som behöver utvecklas, som bland annat reglerar

- autonoma självkörande farkoster
- luftrumskoordinering
- persontransporter med enklare typer av lågkostnads-UAV:er (certifieringskrav m.m.).

Dessa regelverk är dock inte unika för obemannade sjuktransporter utan behöver utvecklas även för generell användning i exempelvis logistiktillämpningar. Här bör försvarsmedicinområdet snarare avvakta utvecklingen än att driva densamma.

7.2.1.2 Automatiserad vård under transport

Obemannade sjuktransporter kan i många fall komma att genomföras som en CASEVAC utan att den skadade ges vård under transporten. Detta är det troligaste scenariot vid exempelvis transporter från skadeplats till kompanisamlingsplats. Genom att även föra in en viss nivå av automatiserad vård under transporten är det dock möjligt att minska skillnaden mellan en CASEVAC och en MEDEVAC. Om automatiserad vård kan införas bedöms möjligheterna att genomföra sjuktransporter med obemannade farkoster öka även högre upp i vårdkedjan. Det kan som en basnivå handla om att administrera smärtstillande mediciner, antibiotika, autoinjektor och tranexamsyra i förebyggande syfte innan transport eller automatiskt under transporten baserat på informationen från kroppsburna sensorer. Detta kan även genomföras av en sjuksköterska direkt inför en kortare transport.

En utmaning för att öka möjligheterna med obemannade sjuktransporter är därmed att möjliggöra att vissa läkemedel och vård kan administreras automatiskt under transport. Alternativt behöver sensorinformationen överföras i realtid till legitimerad sjukvårdspersonal som fattar beslut på distans om att administrera läkemedlen, vilket därefter genomförs automatiskt. På lång sikt är utvecklingen av mer avancerad vård under transport ett viktigt forsknings- och utvecklingsområde, exempelvis i form av en mobil automatiserad intensivvårdsförmåga, men detta har både tekniska och juridiska utmaningar som behöver lösas. Att automatiskt (eller på distans om kommunikation finns) kunna ge och anpassa nivåer av exempelvis syrgas och vätska, blod och mediciner intravenöst, baserat på sensordata från biosensorer, ger möjlighet att genomföra motsvarande medicinsk sjuktransport med obemannade farkoster. Forskning pågår även för att möjliggöra automatisk applicering av en dekompressionsnål vid en kollapsad lunga (se även [34]). Avsikten är dock inte att ersätta sjukvårdspersonal vid en sjukvårdstransport utan att kunna genomföra säkrare transporter vid

masskadeutfall eller CBRN-händelser där alternativet är att vänta på transport under lång tid eller genomföra transporten helt utan vård.⁸³

7.2.2 Etiska aspekter

Den viktigaste etiska aspekten bedöms röra att obemannade sjuktransporter genomförs med en lägre vårdnivå under transport än vad som ges vid bemannade medicinska sjukvårdstransporter och eventuellt även en lägre vårdnivå än vad som ges vid den vårdenhet som den skadade förflyttas ifrån.

7.2.2.1 Avsteg från principen om obruten vårdkedja

Etiska aspekter kopplade till avsteg från principen om obruten vårdkedja och huruvida det är acceptabelt att transportera en skadad utan adekvat vård är en potentiell utmaning som kan påverka genomförandet av obemannade sjuktransporter.

Införandet av krav på att en relativ riskanalys ska genomföras inför ett beslut om eventuell användning av obemannad sjuktransport utgör sannolikt en nyckel för att lösa detta. Denna relativa riskanalys utgörs för att säkerställa att beslutet om obemannad sjuktransport tas med den skadades bästa som mål. Även framtagandet av gemensamma katastrofmedicinska vård- och prioriteringsprinciper kan potentiellt påverka detta beroende på arbetets inriktning. Försvarsmakten bör se över behovet av och möjlighet för att i det arbetet föra in möjlighet att genomföra sjuktransporter med obemannade farkoster om det är gynnsamt för den skadade individen.

7.2.2.2 Sjuktransport utan möjlighet att ge tröst

Obemannade sjuktransporter har inte samma möjlighet som medföljande sjukvårdspersonal att trösta den skadade under transporten. Metoder för att minska den skadades stressnivåer under transport och ge tröst på distans (tal och video) bör undersökas. Möjligheten att ge tröst med telemedicin eller virtuella tekniker kan öka acceptansen för obemannade sjuktransporter.

7.2.3 Metod och organisation

Utmaningar som direkt eller indirekt kopplar till metodaspekter och organisation har även identifierats.

⁸³ www.pitt.edu/pittwire/features-articles/trauma-care-rucksack

7.2.3.1 Gemensamma katastrofmedicinska vård- och prioriteringsprinciper

Det finns ett behov av att utveckla gemensamma prioritets- och vårdprinciper som kan användas både i civila katastrofer och i krig, baserade på katastrofmedicinska ställningstaganden. Dessa förväntas skapa acceptans för skapandet av, och användas då ett högflödessystem införs vid stora skadeutfall. Dessa kan potentiellt även stödja en ökad användning av sjuktransporter utan medicinsk personal ombord (CASEVAC), även för obemannade sjuktransporter, vid stora skadeutfall där de medicinska sjuktransportresurna är otillräckliga.

7.2.3.2 Relativ riskanalys inför beslut om obemannad sjuktransport

En relativ riskanalys bör genomföras innan beslut fattas om att genomföra en obemannad sjuktransport. Det är endast om risken för den skadade vid evakuering med en UAV vid en riskanalys bedöms vara lägre än om den skadade kvarstannar på platsen i väntan på medicinsk sjuktransport eller annat CASEVAC-fordon som en obemannad sjuktransport är motiverad [29].

Fortsatt arbete behöver utföras i syfte att skapa ett kunskapsunderlag för vilka risker den skadade utsätts för vid en obemannad sjuktransport. Detta påverkas sannolikt av ett flertal faktorer såsom transporttyp, huruvida underbyggda gränsvärden finns framtagna för den fysiska påverkan på den skadade under transport (s.k. *safe ride standards*), estimerad transporttid, skadepanorama osv. Det kan även bli önskvärt att utveckla ett metodstöd för genomförandet av dylika relativa riskanalyser med målet att reducera den kunskap som beslutsfattaren behöver ha. I vissa situationer, såsom på skadepplatsen och kompanisamlingsplats, är det naturligt att sjukvårdsgruppens sjuksköterska fattar beslut och genomför den relativa riskanalysen. I vissa situationer påbörjas dock sjuktransport innan sjukvårdsgruppen hunnit till platsen, se exempelvis scenario 1 och 2, där exempelvis stridssjukvårdaren kan behöva fatta beslut om sjuktransport. På bataljons- och brigadsamlingsplatser kan det istället vara en läkare som fattar beslut om sjuktransport. Kunskapsnivån hos de personer som utför den relativa riskanalysen kan därmed variera kraftigt.

I [29] beskrivs ett antal riktlinjer som stöd till de som fattar beslut om en obemannad sjuktransport (med UAV), exempelvis:

- moderata och kraftiga blödningar behöver vara under kontroll innan transport
- den skadade behöver kunna andas spontant och kunna överleva en transport utan syrgas
- den skadade behöver kunna placeras i framstupa sidoläge om denne är medvetslös.

Dessa riktlinjer är dock drygt tio år gamla och kan behöva ses över för att se om den medicintekniska utvecklingen eller kunskapsläget förändrats så att de behöver uppdateras. Liknande kunskapsunderlag bör även utvecklas för andra typer av obemannade farkoster.

7.2.3.2.1 Safe ride standards

Det finns ett behov av att öka kunskapen om huruvida skadade kan påverkas negativt vid transporter med obemannade farkoster samt utveckla gränsvärden och standarder som minimerar risken att skadorna förvärras. Det gäller exempelvis vilka maximala nivåer på vibrationer, g-krafter osv som är acceptabla vid en obemannad sjuktransport. I [29] beskrivs en uppsättning krav kopplade till *safe ride standards* vid sjuktransporter medelst UAV (se även Appendix B).

7.2.3.2.2 Körprofiler och ruttval för säkrare sjuktransporter

Genom att utvecklade anpassade körprofiler för olika typer av obemannade sjuktransportfarkoster kan risken för att skadorna förvärras minimeras. Körprofilen omfattar bland annat farkostens hastighet men även valet av rutt har en stor påverkan där körning på väg och i terräng medför att farkosten kan behöva begränsa hastigheten i olika grad. Om hastigheten och rutten anpassas kan angivna gränsvärden i *safe ride standards* uppfyllas.

7.2.3.3 Gemensam logistikresurs eller dedikerad medicinsk sjuktransportförmåga

Kostnaden för att skapa förmågan att genomföra obemannade sjuktransporter med UGV eller UAV kan sannolikt reduceras om farkosterna är multirollsfarkoster som kan utföra flera typer av uppdrag. Det tydligaste exemplet är obemannade logistikfarkoster som även kan användas för att utföra sjuktransporter, helt utan modifikationer eller efter en viss anpassning. Kostnadsaspekten behöver dock ställas mot risken att farkosterna genomför andra uppdrag när de behövs för sjuktransporter. Ett annat alternativ är att ha dedikerade obemannade sjuktransportfarkoster som då har en hög tillgänglighet. Det är då även enklare att permanent installera mer dedikerad nyttolast. Ett tredje alternativ är att inte ha dedikerade sjuktransportfarkoster, utan istället reservera delar av logistikfarkosterna för sjuktransporter under en period inför stridsförlopp som riskerar att generera stora skadeutfall.

7.2.3.4 Användaracceptans

Att skapa acceptans hos militär personal för genomförandet av obemannade sjuktransporter är kritiskt. Ett första steg är att skapa en förståelse för behovet och de fördelar som de kan ge samt att beslutet fattas utifrån den skadades behov. Utbildning, övning och metodutveckling i samband med övningar förväntas

kunna öka acceptansen för obemannade sjuktransporter. Dessa kan exempelvis genomföras med system som utvecklas inom ramen för ett demonstratorprojekt.

Det kan exempelvis vara relativt okontroversiellt att transportera lätt skadade (T3 Grön) med obemannade farkoster. Även transport av döda kan vara enklare att nå acceptans för, i synnerhet om de eskorteras av soldater. För transporter av prioritetsgrupp T1 och T2, där alternativet är medicinsk sjuktransport om resurserna finns tillgängliga, är det troligt att både de skadade och sjukvårdspersonalen som beslutar om evakuering föredrar medicinsk sjuktransport om sådan finns tillgänglig. Den relativa riskbedömningen utgör en nyckelfaktor för att nå acceptans för obemannade sjuktransporter då det ger möjlighet att väga riskerna mot varandra. På sikt kan även nivån av vård som kan ges under en obemannad sjuktransport påverka acceptansen för dessa.

7.3 Gapanalys – teknik

Exempel på viktiga områden som rör specifika försvarsmedicinska tekniska utvecklingsbehov kopplade till obemannade sjuktransporter är:

- algoritmer som medger att anpassade körprofiler och anpassningar av ruttvalsalgoritmer kan implementeras i autonoma farkoster så att gränsvärden som anges i *safe ride standards* inte överskrids
- anpassade nyttolaster som reducerar riskerna för den skadade, exempelvis stötdämpande bårar eller bårfästen och skydd mot splitter och finkalibrig eld, på UGV:er
- monitorering av vitalparametrar med kroppsburna biosensorer under sjuktransport
- telemedicinska system för vård under transport som även kan hantera kommunikationsbortfall i telestörda miljöer genom ett visst mått av automatiserad vård
- automatiserade mobila vårdssystem (liknande en sjuktransportpod)
- standarder för fästen, kraftöverföring och medicintekniska system
- AI-baserade algoritmer som möjliggör beslutsstöd för ledning av sjuktransportresurser
- automatiserade journalsystem med AI-baserade taligenkänningsalgoritmer, där även mätningar av vitalparametrar från robotar på skadeplatsen och från kroppsburna sensorer integreras automatiskt.

8 Förslag till prioriterade FoU-projekt

Förslag till forsknings- och utvecklingsinsatser (en enkel *roadmap*) inom fyra nära relaterade områden beskrivs i detta kapitel. Dessa områden är: (i) obemannade sjuktransporter, (ii) robotar på skadeplatsen, (iii) automatiserade journalsystem och beslutsstöd för akut omhändertagande och (iv) automatiserade vårdssystem. De olika projektförslagen sammanfattas i figur 8.1 och beskrivs i 8.2. Fokus är primärt mot forskningsinsatser och för att nyttiggöra resultaten fullt ut behöver dessa verksamheter även kopplas samman med framtida försvarsmaktsstudier, metodförsök, transferprojekt och/eller upphandlingsprojekt.

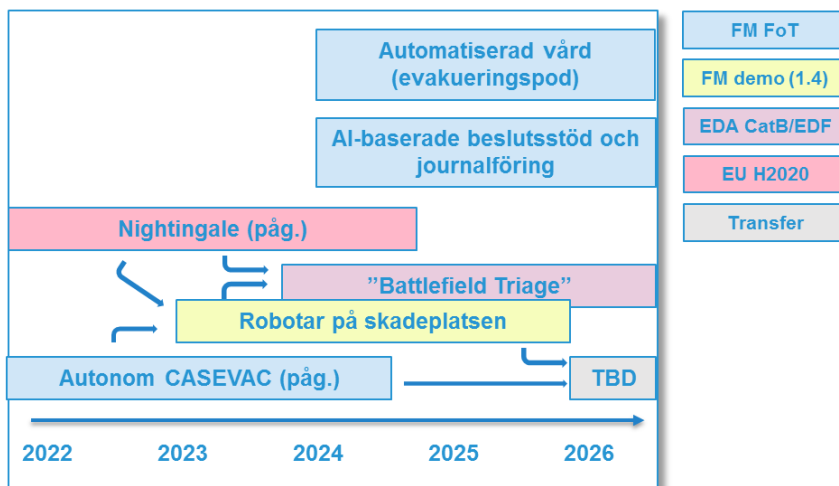
8.1 Pågående projekt

Projektet *Autonom CASEVAC* pågår fram till 2024. Målen med forskningen kopplade till obemannade sjuktransporter är att bygga kunskap som kan skapa förutsättningar för säkra obemannade sjuktransporter och möjliggöra väl underbyggda beslut om användningen av dessa. Säkerheten hos framtida obemannade sjuktransporter ska ökas genom att kunskapen nyttiggörs vid kommande kravställningsarbeten och upphandlingar av exempelvis obemannade logistikfarkoster. Kunskapsunderlag inför och metodstöd vid genomförandet av de relativa riskanalyserna ger en god grund för beslut om en eventuell användning av obemannad sjuktransport som är avsedd att gynna patienterna. Arbetet i Natogruppen HFM RTG-332 är centralt för utvecklingen, bland annat riktat mot *safe ride standards*, standarder för nyttolast, utvecklingen av användningskoncept, framtida vårdkoncept vid transport m.m.

FOI deltar även i ett H2020-finansierat EU-projekt där bland annat metoder för automatiserad triage med UAV:er kommer att utvecklas. Den kunskap som FOI bygger upp ska även nyttiggöras inom Försvarsmaktens FoT-verksamhet, inom *Autonom CASEVAC* och i ett eventuellt demonstratorprojekt.

8.2 Förslag till nya projekt

Ett demonstratorprojekt bör initieras som komplement till pågående forskning. Målsättningen bör i ett sådant projekt även vara att delta i ett internationellt samarbete, exempelvis inom ramen för EDA eller bilateralt. Två nya FoT-projekt föreslås också med start år 2024.



Figur 8.1: Förslag på FoU-projekt och tidsplanering (roadmap).

8.2.1 Demonstratorprojekt

Ett demonstratorprojekt bör initieras (primärt inom 1.4 anslaget) med den preliminära titeln *Robotar på skadeplatsen*. Syftet med projektet bör vara att generera kunskap inför framtida kravställningsarbeten och att genom metodförsök med FömedC utvärdera vilka potentiella användningsområden och scenarion som är prioriterade hos Försvarsmakten. Exempel på förmågor som kan utvecklas och demonstreras är automatisk lägesbild, robotassisterad triage och obemannade sjuktransporter.

8.2.2 EDA CatB eller EDF

Internationella samarbeten ger möjlighet att snabbare och till en lägre kostnad erhålla relevant kunskap.

FMV och Försvarsmakten har identifierat ett brett intresse inom humanfaktorer på europeiska försvarsbyrån (eng. *European Defence Agency*, EDA) för militärmedicinska frågeställningar, särskilt inom området *Battlefield triage*. Ett europeiskt samarbete kan exempelvis realiseras som ett EDA kategori B (CatB) projekt, där länderna finansierar sitt eget deltagande. Ovanstående föreslagna demonstratorprojekt kan utgöra grunden för Sveriges deltagande.

Ett alternativ är att delta med projektansökningar i relaterade FoU-utlysningar som genomförs inom ramen för EDF (eng. *European Defence Fund*).

8.2.3 FoT-projekt

När projektet *Autonom CASEVAC* avslutas 2024 finns möjlighet att initiera ett nytt FoT-projekt. Utifrån de behov som identifierades i bland annat [3] är förslaget att 2024 påbörja ett FoT-projekt riktat mot *Beslutsstöd för akut omhändertagande* eller *Automatiserad patientjournal*. Beroende på omfattning på projektet kan eventuellt båda behoven adresseras.

Det finns även ett behov av att påbörja FoU-verksamhet riktad mot att utveckla *Automatiserade vårdssystem för sjuktransporter*. FOI kan eventuellt ha en stödjande roll i ett sådant forskningsprojekt, men den huvudsakliga utföraren förutsätts ha en högre kunskapsnivå rörande de medicinska aspekterna än vad FOI besitter. Detta projekt kan exempelvis initieras om volymen inom FoT-område Försvarsrelaterad medicin ökar eller genom att styra om forskningen när andra pågående projekt inom FoT-området avslutas.

Ett transferprojekt kan även initieras efter avslutat demonstrationsprojekt, där syftet är att föra över kunskap och tekniker som utvecklats inom FoT-verksamheten och utreda möjligheterna för att föra in dessa inom Försvarsmakten.

9 Slutsatser

En bred förstudie har genomförts där möjligheter och utmaningar med att genomföra obemannade sjuktransporter i en svensk kontext har analyserats. Med viss reservation för att alla aspekter av obemannade sjuktransporter inte har kunnat analyseras på djupet inom denna förstudie görs följande bedömningar:

- Obemannade sjuktransporter har potential att förstärka sjuktransportförmågan framförallt vid stora masskadeutfall, CBRN-händelser och i höga hotmiljöer.
- Obemannade sjuktransporter bedöms vara möjliga att genomföra ur ett etiskt perspektiv förutsatt att de föregås av en relativ riskanalys som säkerställer att nyttan med en sådan sjuktransport överväger riskerna.
- Teleopererade obemannade sjuktransporter bedöms vara möjliga att genomföra i närtid medan användningen av autonoma farkoster begränsas av nationella och internationella juridiska regelverk.
- Obemannade sjuktransporter utan möjlighet till (automatiserad) vård under transport bedöms vara genomförbara men juridiska och etiska aspekter rörande automatiserad vård under transport behöver utredas vidare.
- Det finns metodmässiga och organisatoriska utmaningar rörande införandet av obemannade sjuktransporter som behöver utredas vidare.
- Den tekniska mognadsgraden bedöms vara hög när det gäller medeltunga logistik-UGV:er som kan operera jämsides med exempelvis lätta skytteförband eller hemvärnsförband, men anpassning av farkoster och fortsatt utveckling av dedikerade nyttolaster för obemannade sjuktransporter är nödvändig. Tekniken för att konvertera fordon till teleopererade eller autonoma UGV:er samt möjlighet till konvojkörning bedöms finnas tillgänglig inom fem år (dock med begränsningar i vilka typer av terräng och väderförhållanden de kan operera i).
- Den tekniska mognadsgraden för tekniker som konverterar existerande helikoptrar till teleopererade eller autonoma (optionellt bemannade) UAV:er bedöms vara hög medan dedikerade UAV:er avsedda för sjuktransporter (exempelvis Cormorant eller eVTOL UAV:er) bedöms finnas tillgängliga om fem till tio år.
- Existerande teleopererade obemannade farkoster har allvarliga sårbarheter i telestörda miljöer, vilket motiverar behovet av att öka autonomnivån hos farkosterna.
- Det finns en stor potential med robotassisterad triage på skadeplatsen för bland annat distansavläsning av vitalparametrar men det finns även tekniska utmaningar som behöver lösas när det gäller att utföra detta under fältmässiga förhållanden.

Förslag till riktade FoU-insatser beskrevs även i rapporten (kapitel 8), där ett demonstratorprojekt utgör det i närtid högst prioriterade området.

Referenser

- [1] *Totalförsvaret 2021 – 2025*, Regeringens proposition 2020/21:30, oktober 2020.
- [2] *Försvarsmaktens strategiska inriktning 2021-2030*, Försvarsmakten, FM2021-7333:1, mars 2021.
- [3] Y. Robinson (red.) och M. García Lozano (red.) *et al.*, *AI och framtidens försvarsmedicin*, FOI-R--504--SE, november 2020.
- [4] *Totalförsvarets sjukvårdssystem - En civilmilitär förmågeutveckling inom hälso- och sjukvårdssektorn genom hela hotskalan*, Socialstyrelsen och Försvarsmakten, FM2016-16189:15 och SoS 11.1-30361/2017.
- [5] M. Blimark, P. Örténwall, H. Lönnroth, P. Mattsson, K.D. Boffard och Y. Robinson, "Swedish emergency hospital surgical surge capacity to mass casualty incidents", *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 28:12, 2020.
- [6] A. Khorram-Manesh och E. Carlström, *Civil-militär samverkan behövs för att klara masskadelägen*, Läkartidningen, vol. 166, 2019.
- [7] A. Khorram-Manesh, Y. Robinson, K. Boffard och P. Örténwall, "The History of Swedish Military Healthcare System and Its Path Toward Civilian-Military Collaboration From a Total Defense Perspective", *Military Medicine*, vol. 185, no. 9-10, September-oktober 2020.
- [8] A. Khorram-Manesh, *et al.*, "The Development of Swedish Military Healthcare System: Part II—Re-evaluating the Military and Civilian Healthcare Systems in Crises Through a Dialogue and Study Among Practitioners", *Military Medicine*, vol. 186, no. 3-4, mars-april 2021.
- [9] *Logistik Målbild 2025*, Försvarsmakten, FM2017-3853:3, december 2018.
- [10] M. Kress, *Operational logistics - The Art and Science of Sustaining Military Operations*, andra utgåvan, Springer, 2016.
- [11] *Allied Joint Doctrine for Medical Support*, NATO Standard AJP-4.10, utgåva C, version 1, Allied Joint Publication, NATO Standardization Office (NSO), september 2019.
- [12] M. Gellerfors och J. Linde, *Svensk militär-sjukvård i Afghanistan håller toppklass - Prehospitalt tränade narkosläkare tidigt i vårdkedjan är en grund*, Läkartidningen, 6/2014.
- [13] P.J. Parker, "Casualty evacuation timelines: An evidence-based review", *J R Med Corps*, 153(4), sid. 274-277, December 2007.
- [14] *Allied Joint Medical Doctrine for Medical Evacuation*, NATO Standard AJMedP-2, utgåva A, version 1, Allied Joint Publication, NATO Standardization Office (NSO), augusti 2018.
- [15] C. Gustafsson, *Den försvarsmedicinska bron – hur påverkar försvarsmedicinsk planering svensk försvarsplanering och genomförande av militära operationer?*, Försvarshögskolan, juni 2020.

- [16] P. Berggren, F. Svensson, M. Lampi och E. Prytz, "Battlefield trauma care", *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 2018 Annual Meeting*, sid. 634-638, september 2018.
- [17] *Tactical Combat Casualty Care Handbook – Lessons and best practices*, U.S. Army, version 5, ISBN 9781678198312, maj 2017.
- [18] P.J. Parker, "Developing TCCC Guidelines for Unmanned Aerial Vehicle Casualty Evacuation", *Journal of Special Operations Medicine (JSOM)*, 20:1, 2020.
- [19] C. Handford, F. Reeves och P.J. Parker, "Prospective use of Unmanned Aerial Vehicles for Military Medical Evacuation in Future Conflicts", *J R Army Med Corps*, 164(4):293–296, 2018.
- [20] G. McKnight, M. Palmer och M. Khan, "The use of Unmanned Aerial Vehicles for CASEVAC in the future urban and littoral environments", *Journal of the Royal Naval Medical Service*, 105(1), 2019.
- [21] P. Scharre, *Left Behind: Why It's Time to Draft Robots for CASEVAC*, War on the Rocks, augusti 2014. (warontherocks.com/2014/08/left-behind-why-its-time-to-draft-robots-for-casevac/)
- [22] N.T. Fischer och G.R. Gilbert, "Medical robotic and autonomous system technology enablers for the multi-domain battle 2030-2050", *Small Wars Journal*, juli 2017. (smallwarsjournal.com/jrnl/art/medical-robotic-and-autonomous-system-technology-enablers-for-the-multi-domain-battle-2030-)
- [23] B.R. Blanchard, *UAVs and patient movement*, Air Command and Staff College, Air University, april 2016.
- [24] A. Williams, B. Sebastian och P. Ben-Tzvi, "Review and Analysis of Search, Extraction, Evacuation, and Medical Field Treatment Robots", *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 96:401–418, 2019.
- [25] W. Pickell, A. Kopeikin, E. Bristow och J. Bluman "Feasibility study for a MEDEVAC electric UAS capability", *Proceedings of the International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Atlanta, GA, USA, Juni, 2019.
- [26] A. Mandow, J. Serón, F. Pastor och A. García-Cerezo, "Experimental Validation of a Robotic Stretcher for Casualty Evacuation in a Man-Made Disaster Exercise", *Proceedings of IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*, pp. 241-245, 2020.
- [27] J. Rantakokko, K. Bengtsson, C. Svensson, R. Lennartsson och M. Skarstind, *Tekniköversikt autonoma och obemannade system - Del 3: Sjöstriden*, Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI-R--5088--SE, december 2020.
- [28] J. Rantakokko, F. Näsström, J. Nygård, R. Woltjer och K. Bengtsson, *Tekniköversikt autonoma och obemannade system - Del 2: Markstriden*, Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI-R--4901--SE, november 2019.
- [29] *Safe Ride Standards for Casualty Evacuation Using Unmanned Aerial Vehicles*, NATO STO Technical Report, STO-TR-HFM-184, december 2012.

- [30] J. Ramn och M. Mulder, *Användarvänlig ambulansmodul – Design av ambulansmiljö till drönare*, Examensarbete, Luleå tekniska universitet, 2019.
- [31] I. Roberts, *et al.*, “The CRASH-2 trial: a randomised controlled trial and economic evaluation of the effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events and transfusion requirement in bleeding trauma patients”, *Health Technology Assessment*, vol.17, nr. 10, mars 2013,
- [32] L.R. Johnston, C.J. Rodriguez, E.A. Elster och M.J. Bradley, “Evaluation of Military Use of Tranexamic Acid and Associated Thromboembolic Events”, *JAMA Surgery*, 153(2): 169–175, februari 2018.
- [33] F.J. Pearce, J. Lee och S.V. Albert, “Closing the Loop on Critical Care Life Support for Military En Route Care Environments”, *Proceedings of RTO MP-HFM-109 Symposium on Combat Casualty Care in Ground Based Tactical Situations: Trauma Technology and Emergency Medical Procedures*, St. Pete Beach, USA, 16-18 August 2004.
- [34] J. Berkow och R. Poropatich, ”Trauma care in a rucksack (TRACIR), a disruptive technology concept”, *Small Wars Journal*, februari 2016.
- [35] J.K. Maddry *et al.*, “Advancing Prehospital Combat Casualty Evacuation: Patients Amenable to Aeromedical Evacuation via Unmanned Aerial Vehicles”, *Military Medicine*, februari 2021.
- [36] J.J. Hatzfeld *et al.* “Top 10 Research Priorities for U.S. Military En Route Combat Casualty Care”, *Military Medicine*, vol. 186, mars/april 2021.
- [37] R. F. Graboyes och B. Skorup, ”Medical Drones in the United States and a Survey of Technical and Policy Challenges,” *SSRN Electronic Journal*, 2020.
- [38] J. C. Rosser, V. Vignesh, B.A. Terwilliger och Brett C. Parker. “Surgical and Medical Applications of Drones: A Comprehensive Review”, *Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 22(3), 2018.
- [39] A.M. Johnson, C.J. Cunningham, E. Arnold, W.D. Rosamond och J.K. Zègre-Hemsey, “Impact of Using Drones in Emergency Medicine: What Does the Future Hold?”, *Open Access Emergency Medicine*, vol. 13, sid. 487–498, november 2021.
- [40] C. Seguin, G. Blaquière, A. Loundou, P. Michelet och T. Markarian, “Unmanned aerial vehicles (drones) to prevent drowning”, *Resuscitation*, vol. 127, sid. 63–67, juni 2018.
- [41] E. Ackerman och E. Strickland, ”Medical delivery drones take flight in east Africa”, *IEEE Spectrum*, 55(1):34–35, januari 2018.
- [42] Y. Karaca, *et al.*, “The potential use of unmanned aircraft systems (drones) in mountain search and rescue operations”, *The American Journal of Emergency Medicine*, 36(4):583–588, april 2018.
- [43] N.S. Malik, *et al.*, “The BCD Triage Sieve outperforms all existing major incident triage tools: Comparative analysis using the UK national trauma registry population”, *EClinicalMedicine*, vol. 36, juni 2021.
(doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.100888)

- [44] *Mass casualty trauma triage – Paradigms and pitfalls*, Assistant Secretary for Preparedness and Response (ASPR) & Technical Resources, Assistance Center, and Information Exchange (TRACIE), juli 2019.
(files.asprtracie.hhs.gov/documents/aspr-tracie-mass-casualty-triage-final-508.pdf)
- [45] MSB, *Utvärdering av hanteringen av attentatet i Stockholm 7 april 2017*, Redovisning av regeringsuppdrag Ju2017/05643/SSK, april 2018.
- [46] P. Örtenwall, *Vad ambulanssjukvården kan lära av militära erfarenheter*, Läkartidningen, nr. 7, vol. 110, 2013.
- [47] A. Khorram-Manesh, J. Nordling, E. Carlström, K. Goniewicz, R. Faccincani och F.M. Burkle, "A translational triage research development tool: standardizing prehospital triage decision-making systems in mass casualty incidents", *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 29:119, 2021.
- [48] *AMedP-7.1 Medical management of CBRN casualties*, NATO Standardization Office (NSO), 2018.
- [49] A. Calder och S. Bland, "CBRN considerations in a major incident", *Surgery*, 36(8):417-423, 2018.
- [50] L. Thors, E. Wigenstam och A. Bucht, *Triagemetodik vid exponering för kemiska ämnen*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4726--SE, 2019.
- [51] O. Mattmann, *Detection and Identification Technologies for CBRN Agents*, In book: 21st Century Prometheus, Springer International Publishing, 2020.
- [52] A. Rabajczyk, J. Zboina, M. Zielecka och R. Fellner, "Monitoring of selected CBRN threats in the air in industrial areas with the use of unmanned aerial vehicles", *Atmosphere*, 11(12), sid. 1373, 2020.
- [53] L. Thors, och A. Bucht, *Symtomutveckling vid förgiftning av nervgaser och opioider*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4968--SE, 2020.
- [54] J.M. Culley, E. Svendsen, J. Craig och A. Tavakoli, "A validation study of 5 triage systems using data from the 2005 Graniteville, South Carolina chlorine spill", *J Emerg Nurs*, 40(5):453-460, 2014.
- [55] C. Hahnen, C.G. Freeman, N. Haldar, J.N. Hamati, D.M. Bard, V. Murali, G.J. Merli, J.I. Joseph och N. van Helmond, "Accuracy of Vital Signs Measurements by a Smartwatch and a Portable Health Device: Validation Study", *JMIR Mhealth Uhealth*, 8(2), 2020.
- [56] J.U. van Baardewijk, S. Agarwal, A.S. Cornelissen, M.J.A. Joosen, J. Kentrop, C. Varon och A.M. Brouwer, "Early Detection of Exposure to Toxic Chemicals Using Continuously Recorded Multi-Sensor Physiology", *Sensors*, 21(11), 2021.
- [57] A. Claesson, *et al.*, "Unmanned aerial vehicles (drones) in out-of-hospital-cardiac-arrest", *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 24(1), december 2016.

- [58] N. Rees, J. Howitt, N. Breyley, P. Geoghegan och C. Powel, "A simulation study of drone delivery of Automated External Defibrillator (AED) in Out of Hospital Cardiac Arrest (OHCA) in the UK", *PLOS ONE*, 16(11), november 2021.
- [59] S. Schierbeck, *et al.*, "Automated external defibrillators delivered by drones to patients with suspected out-of-hospital cardiac arrest," (00):10, 2021.
- [60] J.P. Holmquist och J.S. Barnett, "Combat Medicine: A Model for Civilian Mass Casualty Management?", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(16):1501–1505, september 2002.
- [61] T. Gao, *et al.*, "The Advanced Health and Disaster Aid Network: A Light-Weight Wireless Medical System for Triage," *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 1(3):203–216, september 2007.
- [62] K. V. Iserson och J. C. Moskop, "Triage in Medicine, Part I: Concept, History, and Types", *Annals of Emergency Medicine*, 49(3):275–281, mars 2007.
- [63] Vital signs, August 2021. Page Version ID: 1040412019.
- [64] T. Jain, A. Sibley, H. Stryhn och I. Hubloue, "Comparison of Unmanned Aerial Vehicle Technology-Assisted Triage versus Standard Practice in Triageing Casualties by Paramedic Students in a Mass-Casualty Incident Scenario", *Prehospital and Disaster Medicine*, 33(4):375–380, augusti 2018.
- [65] L.T. Wouters, *et al.*, "Tinkering and overruling the computer decision support system: Working strategies of telephone triage nurses who assess the urgency of callers suspected of having an acute cardiac event", *Journal of Clinical Nursing*, 29(7-8):1175–1186, april 2020.
- [66] J. Murdoch, *et al.*, "The impact of using computer decision- support software in primary care nurse-led telephone triage: Interactional dilemmas and conversational consequences", *Social Science & Medicine*, 126:36–47, februari 2015.
- [67] K. Maeda, S. Okamoto, H. Mishina och Takeo Nakayama, "A decision analysis of the effectiveness of the pediatric telephone triage program in Japan", *BioScience Trends*, 3(5):184-90, oktober 2009.
- [68] W. McNally, K. Vats, A. Wong och J. McPhee, "Rethinking Keypoint Representations: Modeling Keypoints and Poses as Objects for Multi-Person Human Pose Estimation", *arXiv:2111.08557*, november 2021.
- [69] S. Iwata, T. Koda och T. Sakamoto, "Multiradar Data Fusion for Respiratory Measurement of Multiple People", *IEEE Sensors Journal*, 21(22):25870–25879, november 2021.
- [70] Yunlu Wang, *et al.*, "Unobtrusive and Automatic Classification of Multiple People's Abnormal Respiratory Patterns in Real Time Using Deep Neural Network and Depth Camera", *IEEE Internet of Things Journal*, 7(9):8559–8571, september 2020.
- [71] H. Yun, J. Choi och J. Ho Park, "Prediction of Critical Care Outcome for Adult Patients Presenting to Emergency Department Using Initial Triage

- Information: An XGBoost Algorithm Analysis”, *JMIR Medical Informatics*, 9(9), september 2021.
- [72] J.W. Joseph, *et al.*, “Deep-learning approaches to identify critically ill patients at emergency department triage using limited information,” *Journal of the American College of Emergency Physicians Open*, 1(5):773–781, oktober 2020.
- [73] M. Fernandes, *et al.*, “Clinical Decision Support Systems for Triage in the Emergency Department using Intelligent Systems: a Review”, *Artificial Intelligence in Medicine*, 102:101762, januari 2020.
- [74] C. Álvarez García, *et al.*, ”Development of the Aerial Remote Triage System using drones in mass casualty scenarios: A survey of international experts”, *PLOS ONE*, 16(5), May 2021.
- [75] R.S. Kotwal, “Eliminating Preventable Death on the Battlefield”, *Archives of Surgery*, 146(12):1350, december 2011.
- [76] U. Katzenell, N. Ash, A.L. Tapia, G.A. Campino och E. Glassberg, ”Analysis of the Causes of Death of Casualties in Field Military Setting”, *Military Medicine*, 177(9):1065–1068, september 2012.
- [77] S. Ovel, “”, juli 2019. (www.army.mil/article/224078/army_research_addresses_top_cause_of_battlefield_injury_death) [Online: besökt 11 januari 2022]
- [78] X. Liu, J. Fromm, S. Patel och D. McDuff, “Multi-Task Temporal Shift Attention Networks for On-Device Contactless Vitals Measurement”, *In Proceedings of the 34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020)*, Vancouver, Kanada, 2020.
- [79] W. Wang och A.C. den Brinker, ”Modified RGB Cameras for Infrared Remote-PPG”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 67, nr. 10, oktober 2020.
- [80] K.-M. Chen, D. Misra, H. Wang, H.R. Chuang och E. Postow, “An X-band microwave life-detection system”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1986.
- [81] F. Lin, Y. Zhuang, C. Song, A. Wang, Y. Li, C. Gu, C. Li och W. Xu., “SleepSense: A noncontact and cost-effective sleep monitoring system”, *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 11, 2016.
- [82] J.-Y. Kim, J.-H. Park, S.-Y. Jang, och J.-R. Yang, “Peak detection algorithm for vital sign detection using Doppler radar sensors”, *Sensors*, vol. 19, 2019.
- [83] J.Y. Sim, J.-H. Park och J.R. Yang, “Vital-Signs Detector Based on Frequency-Shift Keying Radar”, *Sensors*, vol. 20, nr. 19, september 2020.
- [84] I. Kakouche, A. Maali, M.N. El Korso, A. Mesloub och M. Salah Azzaz “Non-contact measurement of respiration and heart rates based on subspace methods and iterative notch filter using UWB impulse radar”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, oktober 2021.

- [85] X. Song, B. Yang, G. Yang, R. Chen, E. Forno, W. Chen och W. Gao, "SpiroSonic: monitoring human lung function via acoustic sensing on commodity smartphones", *In Proceedings of the 26th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '20)*, London september, 2020.
- [86] C.-H. Cheng, K.-L. Wong, J.-W. Chin, T.-T. Chan och R.H.Y. So, "Deep Learning Methods for Remote Heart Rate Measurement: A Review and Future Research Agenda", *Sensors*, vol. 21, nr. 6296, 2021.
- [87] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio och P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition"; *Proceedings of the IEEE*, 86(11):2278–2324, november 1998.
- [88] T.-Y. Lin, *et al.*, *Microsoft COCO: Common Objects in Context*, arXiv:1405.0312 [cs], februari 2015.
- [89] O. Russakovsky, *et al.*, "ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. *International Journal of Computer Vision*, 115(3):211–252, december 2015.
- [90] C. P. Langlotz, *et al.*, "A Roadmap for Foundational Research on Artificial Intelligence in Medical Imaging: From the 2018 NIH/RSNA/ACR/The Academy Workshop", *Radiology*, 291(3):781–791, juni 2019.
- [91] Z. Zou, Z. Shi, Y. Guo och J. Ye, "Object Detection in 20 Years: A Survey", *arXiv:1905.05055*, maj 2019.
- [92] L. Liu, *et al.*, "Deep Learning for Generic Object Detection: A Survey", *International Journal of Computer Vision*, 128(2):261–318, februari 2020.
- [93] S. Majid Azimi, M. Kraus, R. Bahmanyar och P. Reinartz, "Multiple Pedestrians and Vehicles Tracking in Aerial Imagery Using a Convolutional Neural Network", *Remote Sensing*, 13(10):1953, maj 2021.
- [94] P. Zhu, *et al.*, "Detection and Tracking Meet Drones Challenge", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, oktober 2021.
- [95] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick och A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection", *In Proceedings of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA, juni 2016.
- [96] M. Wang och W. Deng, "Deep Face Recognition: A Survey", *Neurocomputing*, 429:215–244, mars 2021.
- [97] N.T. Phuoc Van, *et al.*, "Review-Microwave Radar Sensing Systems for Search and Rescue Purposes", *Sensors*, 19(13):2879, january 2019.
- [98] H. Liu, J. Allen, D. Zheng och F. Chen, "Recent development of respiratory rate measurement technologies", *Physiological Measurement*, 40(7), augusti 2019.
- [99] C. Massaroni, A. Nicolo, M. Sacchetti och E. Schena, "Contactless Methods For Measuring Respiratory Rate: A Review", *IEEE Sensors Journal*, 21(11), juni 2021.

- [100] A. Azarbarzin och Z.M.K. Moussavi, "Automatic and Unsupervised Snore Sound Extraction From Respiratory Sound Signals", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(5):1156–1162, maj 2011.
- [101] M.A. Azam, A. Shahzadi, A. Khalid, S.M. Anwar och U. Naeem, "Smartphone Based Human Breath Analysis from Respiratory Sounds", *In Proceedings of 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Honolulu, HI, juli 2018.
- [102] Y. Cho, S. J. Julier, N. Marquardt och N. Bianchi-Berthouze, "Robust tracking of respiratory rate in high-dynamic range scenes using mobile thermal imaging", *Biomedical Optics Express*, 8(10):4480, oktober 2017.
- [103] G. Scebbba, G. Da Poian och W. Karlen, "Multispectral Video Fusion for Non-Contact Monitoring of Respiratory Rate and Apnea", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 68(1):350–359, januari 2021.
- [104] P. Jagadev och L.I. Giri, "Human respiration monitoring using infrared thermography and artificial intelligence", *Biomedical Physics & Engineering Express*, vol. 6, nr. 3, mars 2020.
- [105] K. Mutlu, J. Esquivelzeta Rabell, P. Martin del Olmo och S. Haesler, "IR thermography-based monitoring of respiration phase without image segmentation", *Journal of Neuroscience Methods*, 301:1–8, maj 2018.
- [106] Z. Khan, *Joint use of thermal camera and optical camera for respiration measurement*, Aalto University, page 82, 2021.
(aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/110555)
- [107] C. Hoog Antink, S. Lyra, M. Paul, X. Yu och S. Leonhardt, "A Broader Look: Camera-Based Vital Sign Estimation across the Spectrum", *Yearbook of Medical Informatics*, 28(01):102–114, augusti 2019.
- [108] Y. Wang, *et al.*, "Identification of Deep Breath While Moving Forward Based on Multiple Body Regions and Graph Signal Analysis"; *In Proceedings of ICASSP 2021 - 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Toronto, ON, Canada, juni 2021.
- [109] S. Iwata, T. Koda och T. Sakamoto, "Multiradar Data Fusion for Respiratory Measurement of Multiple People", *IEEE Sensors Journal*, 21(22):25870–25879, november 2021.
- [110] L. Maurya, P. Mahapatra och D. Chawla, "Non-contact breathing monitoring by integrating RGB and thermal imaging via RGB-thermal image registration", *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 41(3):1107–1122, juli 2021.
- [111] A. Al-Naji, K. Gibson, S.-H. Lee och J. Chahl, "Real Time Apnoea Monitoring of Children Using the Microsoft Kinect Sensor: A Pilot Study", *Sensors*, 17(2):286, februari 2017.
- [112] N. Bernacchia, *et al.*, "Non contact measurement of heart and respiration rates based on Kinect™", *In Proceedings of 2014 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, juni 2014.

- [113] H.-S. Hwang och E.-C. Lee, "Non-Contact Respiration Measurement Method Based on RGB Camera Using 1D Convolutional Neural Networks", *Sensors*, 21(10), maj 2021.
- [114] F. Khan, A. Ghaffar, N. Khan och S. Ho Cho, "An Overview of Signal Processing Techniques for Remote Health Monitoring Using Impulse Radio UWB Transceiver", *Sensors*, 20(9), januari 2020.
- [115] A.B. Hertzman, "Photoelectric Plethysmography of the Fingers and Toes in Man", *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 37(3):529–534, december 1937.
- [116] P. H. Charlton, *et al.*, "An assessment of algorithms to estimate respiratory rate from the electrocardiogram and photoplethysmogram", *Physiological Measurement*, 37(4):610–626, april 2016.
- [117] D. Luguern, *et al.*, "An Assessment of Algorithms to Estimate Respiratory Rate from the Remote Photoplethysmogram", *In Proceedings of 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Seattle, WA, USA, June 2020.
- [118] W. Verkruysse, L. O Svaasand och J. S. Nelson, "Remote plethysmographic imaging using ambient light", *Optics Express*, 16(26), december 2008.
- [119] A. Moço och W. Verkruysse, "Pulse oximetry based on photoplethysmography imaging with red and green light: Calibratability and challenges", *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 35(1):123–133, februari 2021.
- [120] C.-H. Cheng, *et al.*, "Deep Learning Methods for Remote Heart Rate Measurement: A Review and Future Research Agenda", *Sensors*, 21(18), september 2021.
- [121] M. Sabokrou, M. Pourreza, X. Li, M. Fathy och G. Zhao, "Deep-HR: Fast Heart Rate Estimation from Face Video Under Realistic Conditions", *Journal of Expert Systems with Applications (JESA)*, 186(10), juli 2021.
- [122] R. Song, H. Chen, J. Cheng, C. Li, Y. Liu och X. Chen, "PulseGAN: Learning to Generate Realistic Pulse Waveforms in Remote Photoplethysmography", *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(5):1373–1384, maj 2021.
- [123] G. Boccignone, D. Conte, V. Cuculo, A. D'Amelio, G. Grossi och R. Lanzarotti, "An Open Framework for Remote-PPG Methods and Their Assessment", *IEEE Access*, 8:216083– 216103, 2020.
- [124] J. Cheng, *et al.*, "Remote Heart Rate Measurement From Near-Infrared Videos Based on Joint Blind Source Separation With Delay-Coordinate Transformation", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70:1–13, 2021.
- [125] M. Harford, J. Catherall, S. Gerry, J. Young och P. Watkinson, "Availability and performance of image-based, non-contact methods of monitoring heart rate, blood pressure, respiratory rate, and oxygen saturation: a systematic review", *Physiological Measurement*, 40(6), juli 2019.

- [126] C. Zhang, I. Gebhart, P. Kühmstedt, M. Rosenberger och G. Notni, "Enhanced Contactless Vital Sign Estimation from Real-Time Multimodal 3D Image Data", *Journal of Imaging*, 6(11), november 2020.
- [127] C. Zhang, I. Gebhart, P. Kühmstedt, M. Rosenberger och G. Notni, *Real-time multimodal 3D imaging system for remote estimation of vital signs*, In book: Multimodal Sensing and Artificial Intelligence: Technologies and Applications II, Germany, June 2021. SPIE.
- [128] A. Wang, D. Nguyen, A.R. Sridhar och S. Gollakota, "Using smart speakers to contactlessly monitor heart rhythms", *Communications Biology*, vol.4, nr. 319, 2021.
- [129] J. Jiang, Y. Lu och S. Hua, "Using spatio-temporal hybrid features for detecting bleeding point in laparoscopic surgery", *In Proceedings of Twelfth International Conference on Graphics and Image Processing (ICGIP 2020)*, Xi'an, Kina, januari 2021. SPIE.
- [130] Florian Richter, *et al.*, "Autonomous Robotic Suction to Clear the Surgical Field for Hemostasis Using Image-Based Blood Flow Detection", *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6(2):1383–1390, april 2021.
- [131] S. Imtiaz, M. Arsalan, V. Vlassov och R. Sadre, "Synthetic and Private Smart Health Care Data Generation using GANs", *In Proceedings of 2021 International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, Aten, Grekland, juli 2021.
- [132] F. Condrea, V.-A. Ivan och M. Leordeanu, "In Search of Life: Learning from Synthetic Data to Detect Vital Signs in Videos", *In Proceedings of 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Seattle, WA, USA, juni 2020.
- [133] F. Johansson, A. Horndahl, H. Stiff och M. Garcia Lozano, *Data synthesis using generative models*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R—5041--SE, november 2020.
- [134] T.L. Beauchamp och J.F. Childress, *Principles of Biomedical Ethics*, sjunde upplagan, Oxford University Press, Oxford, 2013. (ISBN: 978-0-19-992458-5)
- [135] *Policy on Casualty Evacuation in the Field*, United Nations, mars 2020.
- [136] M.K. Beebe, D. Lam och G.R. Gilbert, "Unmanned Aircraft Systems for Casualty Evacuation - What Needs to be Done," NATO Science and Technology Organization, MP-HFM-231, Neuilly-Sur-Seine Cedex, Frankrike, december 2012.
- [137] J. McCarthy, "What is artificial intelligence?", 2007. (jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf) [Online; besökt 26 oktober 2020].
- [138] *FMR Fömed G – Försvarmaktsreglemente Försvarsmedicin Grunder*, Försvarmakten, 2014.
- [139] *H NOMEN LOG – Handbok Nomenklatur Logistik*, Försvarmakten, 2020.

Appendix A

Betydelsen för de vanligaste förkortningar och begrepp som används i rapporten beskrivs i tabell A.1. Huvuddelen av dessa beskrivs även i [3].

Tabell A.1: Vanligt använda förkortningar och begrepp.

Förkortning/begrepp	Betydelse
AI	Artificiell intelligens. Med AI menas vetenskapen och tekniken att skapa intelligenta maskiner [137]. En intelligent maskin är en maskin som kan uppvisa mänskliga drag såsom resonerande, inlärning, planering och kreativitet. Förmågan att uppfatta omgivningen, tolka den inkommande datan och lösa problem som uppstår, med syfte att uppnå ett specifikt mål brukar också anses utgöra en intelligent maskin.
Autonom CASEVAC	CASEVAC som genomförs med en autonom farkost.
Autonom farkost	En autonom farkost förs fram utan förare och kan på egen hand manövrera på marken, i luften eller i vattnet. Farkosten kan förses med kameror, sensorer eller annan utrustning som gör att den kan samla data till en markkontroll där bilder eller annan information kan tolkas. ⁸⁴
Autonomt system	Ett autonomt system kan beskrivas som ett avancerat tekniskt system som, helt eller delvis, självständigt (autonomt) kan lösa vissa uppgifter, ofta genom någon form av artificiell intelligens. Ingen väldefinierad gräns finns definierad mellan autonoma och automatiska system utan den är flytande utifrån hur intelligent systemet bedöms vara. Enklare medicintekniska system som självständigt (automatiskt) utför vissa uppgifter kan även benämnas som s.k. <i>closed-loop</i> system.
CASEVAC	Eng. <i>Casualty Evacuation</i> . CASEVAC är en oplanerad eller tillfällig förflyttning av skadade utan användandet av kvalificerade eller därför utsedda medicinska förmågor. CASEVAC är ingen medicinsk förmåga, och ligger utanför det försvarsmedicinska ansvarsområdet och ska användas bara om den transporterar den skadade direkt till nästa grupperade sjukvårdsförmåga, innan en medicinsk evakueringsstyrka anländer, om antalet skadade överlastar den medicinska evakueringsförmågan (masskadeanfall), eller om den medicinska evakueringsförmågan ska stå beredd för en högre prioriterad uppgift. För att kunna omhänderta större skadeutfall kan CASEVAC komma ifråga för samtliga skadade utan behov av kontinuerlig medicinsk behandling [11]. (jämför MEDEVAC). H NOMEN LOG beskriver CASEVAC som "transport av skadad/sjuk med tillfälligt iordningställd resurs" [139].
Evakuering av skadad	Sammanfattande begrepp för transport av skadad. Begreppet omfattar medicinsk evakuering, sjuktransport, taktisk medicinsk evakuering, omfördelningstransport och strategisk medicinsk evakuering [139].
MCI	Eng. <i>Mass Casualty Incident</i> .
MEDEVAC	Eng. <i>Medical Evacuation</i> . Medicinsk evakuering innebär omhändertagande och transport under fortsatt behandling av skadade och sjuka, från skadeplats till behandlande enhet alternativt mellan behandlande enheter [138]. Behandlingen ska följa moderna behandlingsriktlinjer, ombord utpekade och röda kors-markerade sjuktransportmedel. T.ex. ett ambulansflygplan för avtransport av skadade och sjuka och för transport av medicinsk personal och utrustning [14]. I MEDEVAC ingår för uppgiften utbildad och tränad legitimerad hälso- och sjukvårdspersonal med medicinsk utrustning (jämför CASEVAC) [138].

⁸⁴ www.forsvarsmakten.se/sv/ordlista/#/word/autonoma-farkoster

	H NOMEN LOG beskriver MEDEVAC som "transport av skadad/sjuk med medicinsk utrustning och hälso- och sjukvårdspersonal" [139].
Medicinsk evakuering	En sjuktransport med medicinsk utrustning och hälso- och sjukvårdspersonal, som syftar till att evakuera skadad/sjuk [139].
Obemannad farkost	Flygande, markgående, ytgående eller undervattensfarkost som framförs utan människor ombord. Obemannade farkoster kan vara fjärrstyrda eller helt eller delvis autonoma.
Obemannad sjuktransport	Sjuktransport som genomförs med en obemannad farkost.
PPG	Fotopletysmografi (eng. <i>Photoplethysmography</i>). Metod för icke-invasiv detektion av vitalparametrar såsom puls och syremättnad.
RASEVAC	Eng. <i>Robotic and Autonomous Systems Evacuation</i> . Robotassisterad evakuering. Förflyttning av skadad med obemannade farkoster under militära operationer inom luft-, mark-, yt- och undervattensdomänerna, som utförs med eller utan robotassisterad vård.
Sjuktransport	All transport av skadad/sjuk. Omfattar bland annat transport av skadad/sjuk med tillfälligt iordningställd resurs (jämför med Natos begrepp CASEVAC) samt transport av skadad/sjuk med medicinsk utrustning och hälso- och sjukvårdspersonal (jämför med Natos begrepp MEDEVAC).
Sjukvårdsförnödenheter	Sammanfattande benämning på sjukvårdsmateriel och läkemedel inklusive blod och blodprodukter [139].
TCCC	Eng. <i>Tactical Combat Casualty Care</i> . Riktlinjer för omhändertagande av skadade utan att få ytterligare skadade och samtidigt utföra det militära grunduppdraget.
Triage	Prioritering för akut och fortsatt behandling samt medicinsk evakuering av skadade efter en primär undersökning. Triage är en dynamisk och repetitiv process [138]. H NOMEN LOG anger att triage är en "medicinsk prioritering av skadad/sjuk" [139].
UAV	Eng. <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> . Obemannad flygande farkost.
UGV	Eng. <i>Unmanned Ground Vehicle</i> . Obemannat markgående fordon.
Vitalparametrar	Samlingsbegrepp för mätdata av vitala kroppsfunktioner. Till de primära vitalparametrarna räknas kroppstemperatur, puls, blodtryck och andningsfrekvens.

Appendix B

Exempel på krav som utvecklades som en del av arbetet med att utveckla *safe ride standards* för obemannad CASEVAC som genomförs med UAV:er [29]. Dessa utvecklades för drygt tio år sedan och bör uppdateras, samtidigt som motsvarande krav bör utvecklas för sjuktransporter med exempelvis UGV:er.

Tabell B.1: Utvalda krav som utformades under arbetet med safe ride standards inom Natogruppen RTG HFM-183.

Criteria	Standards
Inherently Safe	The UAV should be inherently safe or designed to mitigate risk to a casualty (e.g. no exposed sharp edges, no exposed high temperature surfaces).
Safety Rating	NATO or National Air Regulations.
Air Quality	Air quality in compartment must be in accord with usual aviation standards – no exhaust contamination, etc.
Noise/Acoustic Levels	The UAV should be designed to not exceed the 8-hour time weighted occupational exposure limit of 85 dBA within the “passenger compartment”. Noise levels above 115 dBA should not be exceeded for any duration without hearing protection.
Vibration Levels	Should not exceed current UH-60 vibration levels.
Acceleration	< 0.25 G/sec G-onset rate. < 2 Gs in any axis at any time when carrying a casualty.
Interior Configuration	Sufficient space for the casualty lying on folding stretcher or NATO litter without comfort mattress or vibration mitigation technology.
Interior Environmental Temperature Control	Passive Measures (e.g. warming/cooling blankets for casualty).
Immobilisation	A minimum of three (chest, hip, and knee) litter straps or other patient retention devices per stretcher or litter to prevent longitudinal or transverse dislodgment of the casualty during UAS transit. Some system must be available to firmly attach the litter to the aircraft, to preclude movement of the casualty within the “passenger” compartment during flight.
Number of Casualties	1
Oxygen	If available at casualty point of origin and needed in flight, portable patient O2 must be able to be secured in the “passenger” compartment.
Lighting	Adequate lighting for observation and to preclude patient perception of being stuffed into a “cold, dark box”.
Fluid Containment	Body or treatment fluids should be easily contained within the “passenger” compartment which should be able to be easily cleaned and disinfected after use if exposed to fluids (e.g. disposable absorbent blankets/mats or disposable litters).
Usable Payload Weight	> 500 lb.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se