

YOHAN ROBINSON (RED.),
MARIANELA GARCÍA LOZANO (RED.),
JESSICA APPELGREN, JAN BENSCHOF, HENRIK BÖRJESSON,
JONAS CLAUSEN MORK, MARCUS DANSARIE, JENNY GUSTAFSSON,
SOFIA HEDENSTIERNA, CLAES IVGREN, KLAS KARLGREN,
LINUS LUOTSINEN, JOUNI RANTAKOKKO OCH NICLAS WADSTRÖMER



Yohan Robinson (red.),
Marianela García Lozano (red.), Jessica Appelgren,
Jan Benshof, Henrik Börjesson,
Jonas Clausen Mork, Marcus Dansarie,
Jenny Gustafsson, Sofia Hedenstierna,
Claes Ivgren, Klas Karlgren, Linus Luotsinen,
Jouni Rantakokko och Niclas Wadströmer

AI och framtidens försvarsmedicin

Bild/Cover: Martin Ek/Eken Bild & Animation AB

Titel	AI och framtidens försvarsmedicin
Title	AI and the future defence medicine
Rapportnummer	FOI-R--5045--SE
Månad	November
Utgivningsår	2020
Antal sidor	157
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare	Försvarsmakten
Forskningsområde	Ledningsteknologi
Projektnummer	E60560
Godkänd av	Lars Høstbeck
Ansvarig avdelning	Försvars- och säkerhetssystem
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrolllagstiftningen

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.

Sammanfattning

Medicinskt legitimerad personal är, och kommer med stor sannolikhet fortsatt att vara, en knapp resurs inom Försvarmaktens sjukvårdsorganisation. I denna rapport ges en översikt över pågående och planerade ansatser baserade på artificiell intelligens (AI) inom akutsjukvård med särskild tonvikt på omhändertagandet av traumapatienter, där lösningarna skulle kunna bidra till att Försvarmakten kan bibehålla sin sjukvårdskapacitet i kritiska lägen. Rapporten är ett resultat av samarbetet mellan FM, FOI, FMV, FHS och KI, och vänder sig i första hand till Försvarmaktens strategiska ledning.

Användningen av AI-teknik i framtida beslutsstöd kan skapa nya möjligheter till avlastning av personal och resurseffektivisering. Tekniken ger möjligheter att i realtid samla in, bearbeta och analysera stora mängder blandad information om förbands hälsoläge och fysiska stridsvärde. Bedömning av skadade kan t.ex. göras av triagedrönare och den efterföljande evakueringen kan underlättas av intelligenta autonoma plattformar. Införandet av AI-system ställer dock vårdgivaren inför svåra etiska och medikolegala överväganden.

Försvarsmedicin har en central roll i Försvarmaktens krigföringsförmåga och för samhällets uthållighet. För att nyttja hela AI-teknikens framfart till Försvarmaktens nytta måste dess innebörd och konsekvens för försvarsmedicinen förstås. Därför rekommenderar denna studie att Försvarmaktens framtida satsningar inom AI och autonomi inkluderar den försvarsmedicinska teknikutveckling som är beskriven i denna rapport.

Nyckelord

AI, hälso- och sjukvård, krigssjukvård, försvarsmedicin, autonoma system, djupinlärning, beslutsstöd, triage

Abstract

Medical staff is, and will most likely remain, a scarce resource in the Swedish Armed Forces' (SAF) medical support organization. This report reviews ongoing and emerging developments using artificial intelligence (AI) for medical care, focusing on prehospital trauma care, enhancing the SAF's combat casualty care capability. This report results from the collaboration between SAF, FOI, FMV, FHS, and KI, and is primarily aimed at the SAF's strategic management.

The use of AI-technology in future decision support can create new opportunities for staff relief and resource efficiency. The technology provides opportunities to collect, process, and analyze large amounts of mixed information about the unit's health status and physical combat value in real-time. Assessment of injured people can, e.g., be done by triage drones, and intelligent autonomous platforms can facilitate the subsequent evacuation. However, the introduction of AI-systems presents difficult ethical and medical law considerations.

Defense medicine has a central role in the Armed Forces' warfare capability and society's endurance. Using AI-technology to benefit the SAF, its meaning and consequence for defense medicine must be understood. Therefore, this study recommends that the Armed Forces' future investments in AI and autonomy include the defense medical technology development described in this report.

Keywords

AI, health care, combat casualty care, defence medicine, autonomous systems, deep learning, decision support, triage

Innehåll

1	Introduktion	9
1.1	Syfte	11
1.1.1	Avgränsningar	11
1.2	Målgrupp	11
1.3	Metod	12
1.4	Läsanvisning	12
2	Bakgrund	15
2.1	Försvarsmedicin	15
2.1.1	Försvarsmedicinsk krigsvetenskap	15
2.1.2	Försvarsmedicinsk operativ planering	17
2.1.3	Sjuktransport	19
2.1.4	Smart medicinsk teknik	20
2.2	Artificiell intelligens	21
2.2.1	Maskininlärning	22
2.2.2	Djupinlärning	24
2.3	Autonomi och autonoma system	30
3	AI-teknik för akut- och traumasjukvård	31
3.1	Tidiga AI-stöd för hantering av komplexa traumafall	32
3.2	Senare arbeten om AI och akutsjukvård	33
3.3	AI-stöd för radiologiska bildanalyser	34
3.4	AI-teknik för prehospital akutsjukvård	35
3.5	AI för ljud- och språkanalys	38
3.6	Virtuella assistenter och chatbots	38
3.7	Beslutsstöd	39
3.7.1	Övervaka och varna	40
3.7.2	Distribuerad datainsamling och skräddarsydd rådgivning	40
3.7.3	Beslutsstöd för kirurgisk hjälp till skadade soldater	41
3.7.4	Realtidsstöd under de första 24 timmarna av traumavård	42
3.8	Utmaningar	42
4	Autonom sjukvårdslogistik	45
4.1	Definitioner av fjärrstyrda respektive autonoma farkoster	45
4.2	Generella egenskaper	46
4.3	Obemannade farkoster	47
4.3.1	UAV	48
4.3.2	UGV	53

4.3.3	USV	55
4.4	Autonom försörjning av medicinska förnödenheter och blodprodukter	57
4.5	Obemannad och autonom evakuering av skadad	60
4.5.1	Opportunistisk CASEVAC med renodlad logistikplattform	62
4.5.2	Opportunistisk CASEVAC med anpassad nyttolast	63
4.5.3	CASEVAC med dedikerad evakueringspod	63
4.5.4	Dedikerad MEDEVAC	64
4.5.5	Konceptskiss för dold evakuering i skärgårdsmiljö	64
4.6	Beslutsstöd för effektivare användning av sjukvårdsresurser	64
4.6.1	Exempel på försvarsmedicinska användningsområden för autonoma UAV:er	65
4.7	Utmaningar	66
5	Biosensorer och drönartriage	69
5.1	Biosensorer	69
5.1.1	Kroppsburna biosensorer	71
5.1.2	Hälsöövervakning med biosensorer	73
5.1.3	Kroppsburna blödningssensorer	73
5.2	Drönartriage	74
5.3	Vitalparametrar för triage på distans	75
5.4	Utmaningar	78
6	Robotassisterad sjukvård	79
6.1	Robotkirurgi	79
6.2	Robotassisterad venkateterisering	81
6.3	Robotisk läkemedeladministration	81
6.4	Robotisk säker luftväg	82
6.5	Robotisk kraniotomi	82
6.6	Exoskelett för avsutten förflyttning av skadad	82
6.7	RAS-sjukvårdskapsel	84
6.8	Utmaningar	86
7	Data	87
7.1	Data om verkan och skador	87
7.1.1	Statistikdatabaser	87
7.1.2	Skadeklassificering	88
7.1.3	Skademekanismer	88
7.1.4	Sårbarhetsmodeller	89
7.2	Utmaningar	90
8	Etik	93
8.1	Teoretiska och meta-teoretiska motsättningar inom bioetiken	93

8.1.1	Abstrakt teori	93
8.1.2	Bioetiska principer	94
8.1.3	Fallbaserade analogiresonemang	94
8.2	Konventioner med etiska anspråk	94
8.3	Nya och gamla frågeställningar	95
8.3.1	Moraliska subjekt och objekt	95
8.3.2	Autonomi: från rådgivning till handling	96
8.3.3	Kriget och medicinen	96
8.4	Slutsatser	97
9	Juridik	99
9.1	Krav på god vård	99
9.2	Försvarsmaktens stöd till civil verksamhet	100
9.3	Medicinteknisk produkt	100
9.4	Patientsäkerhet	101
9.5	Behandling av personuppgifter	102
9.6	Krigets lagar	102
9.7	Slutsatser	104
10	AI i Försvarsmaktens sjukvårdsorganisation	105
10.1	Doktrin	105
10.2	Organisation	107
10.3	Träning	107
10.4	Materiel	107
10.5	Ledarskap och utbildning	107
10.6	Personal	108
10.7	Faciliteter	108
10.8	Interoperabilitet	108
10.9	Sammanfattning	109
11	Slutsatser	111
11.1	Möjligheter	111
11.2	Utmaningar	112
Appendix A	Begrepp och förklaringar	115
Appendix B	Workshop AI-tillämpningar för försvarsmedicin	121
B.1	Workshopmetodik	121
B.2	Resultat	121
B.3	Diskussion	124
Appendix C	Förstudie autonom CASEVAC	125
C.1	Bakgrund	125

C.2	Genomförande	126
C.3	Övergripande scenario	126
C.4	Vignette del 1 – Dold signalspaning öster om Gotland	127
C.5	Vignette del 2 – Amfibiebataljon utövar kontroll av skärgård	128
C.5.1	Uppdrag	128
C.6	Vignette del 3 – Slå luftlandsättning	129
C.7	Slutsatser	130
Litteraturförteckning		133

1 Introduktion

Chefen för sjukvårdsgruppen får ett meddelande om ett större skadeutfall i samband med förbekämpning från luften. Tjugotvå skadade, varav femton med livshotande skador, samt ett okänt antal civila skadade rapporteras in. Chefen vet att ett sådant masskadescenario kräver en prioritering av skadade så att de begränsade sjukvårdsresurserna används där de behövs som mest. Tyvärr finns ingen läkare i sjukvårdsgruppen som kan stödja vid prioritering av patienter. Dessutom har sjukvårdsgruppen mest sannolikt för lite blod med sig för att kunna rädda mer än två skadade från en blödningschock. Läkemedel och sjukvårdsförnödenheter är begränsade till det man har med sig i ambulansen. Gruppchefen har begärt en medicinsk evakuering med helikopter, men vid avsaknad av luftherravälde är det osannolikt att man får det evakueringsstöd som man behöver. Detta scenario, som illustreras i figur 1.1, visar på krigssjukvårdens utmaningar vid en masskadesituation, där det saknas:

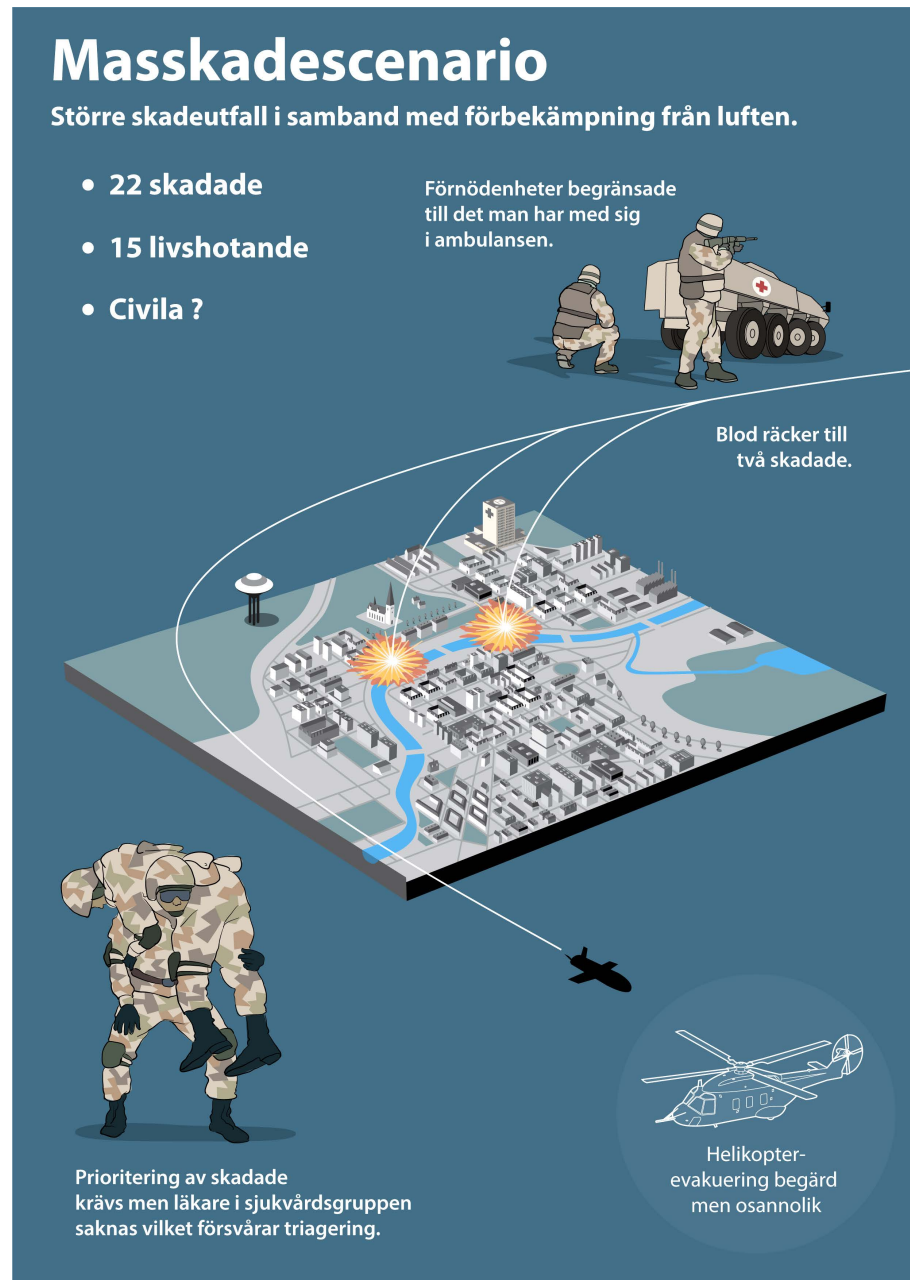
- Tillförlitlig triagering¹ som stöd för sjuktransportledningen.
- Specialistläkarkompetens i den främre stridsfältsnivån.
- Sjukvårdsresurser för att kunna genomföra livräddande behandlingar.
- En tillförlitlig blod- och läkemedelsförsörjning.
- En sjuktransportkedja som nyttjar samtliga tillgängliga plattformar för evakuering.

I kritiska situationer måste det finnas beredskap att kunna hantera skador även på isolerade platser, såsom på ett slagfält, en ubåt eller ytfartyg varifrån det kan vara svårt att ordna transport till sjukhus. En utmaning är då att ha beredskap för de fall då det endast finns personal med otillräcklig sjukvårdsutbildning närvarande. Det kan vara extremt krävande att vara den som ska omhänderta en svårt skadad individ som drabbats av allvarliga skador såsom skott- eller sprängskador. Snabba beslut kan behöva fattas och om miljön är hotfull eller stressande på andra sätt ställs ännu högre krav. Om det dessutom finns begränsat med resurser, saknas kompetenta kollegor att rådfråga och det är oklart när man kan få kontakt med mer kvalificerad medicinsk personal eller nå ett sjukhus blir uppgiften än mer krävande.

Telemedicin är en lösning som ofta nämns när kvalificerad personal saknas. Inom Försvarmakten nyttjas olika former av telemedicin för att stödja sjukvårdspersonal i insatsområdet. I sin enklaste form är det en läkare som har telefonberedskap dygnet runt. Ett mer avancerat telemedicinskt stöd nyttjar videokonferens eller röntgendiagnostik på datalänk. Även om olika former av telemedicin har använts framgångsrikt är det inte självklart att den finns tillgänglig eller räcker just då när det behövs [55, 56]. Det är då artificiell intelligens (AI) potentiellt kan stödja de som ska omhänderta de skadade. Stödet kan fokusera på olika skeden i omhändertagandet såsom vid diagnostisering, utvärdering, återupplivning och stabilisering av den skadade eller mer indirekt genom att ge logistisk hjälp och dokumentera vårdarbetet. AI är idag ett aktivt område och det bedrivs mycket forskning som rör tillämpning av AI inom medicin, men AI inom akutsjukvården har inte kommit lika långt. Ämnet AI inkluderar en rad olika tekniker och det är en öppen fråga inom vilka försvarsmedicinska områden som AI kan bidra med mest nytta.

Förhoppningen är att AI-baserade lösningar kan bidra med beslutsstöd vid avsaknad av kompetens eller i sådana fall då det saknas tillgång till webb

¹Triageprocessen syftar till bedömning och prioritering av skadade.



Figur 1.1 – Illustration av masskadescenario (Grafik: Martin Ek).

och andra strukturer för att få till stånd *reachback*-funktionalitet². Det är också ett resursproblem att avdela legitimerad personal i tillräcklig omfattning till förbandsnära insatser. Beslutsstöd som i olika grad är autonomt kan därmed spela en viktig roll i tillhandahållandet av vård i fält. Intresset för AI-lösningar växer snabbt inom såväl forskning som kommersiellt och har potential att kunna bidra till denna typ av stöd.

I samband med AI möter man begreppet autonomi, där en maskin fattar definierade beslut och utför handlingar utan att en människa är del av

²Reachback-funktionalitet handlar om försörjning med produkter, tjänster, förband, utrustning, materiel från ett förband eller en organisation bakom stridsfältsnivån [17].

beslutscykeln. Det används t.ex. för självkörande fordon där en AI följer trafikregler och fattar beslut beroende på den data dess sensorer har matats med. Autonoma markfarkoster har utvecklats för markarenan och fungerar t.ex. som packåsar i svår terräng. Dessa fordon kommer att finnas tillgängliga för okvalificerad evakuering av skadade, men hur dessa sjuktransporter ska samordnas så att rätt skadad når rätt vårdnivå måste utvecklas. Detta gäller även för nödenhetsförsörjning med blod och läkemedel till stridsfältsnivån. AI-baserade algoritmer kan potentiellt även användas för att prediktera framtida skadeutfall och kombinerat med olika optimeringstekniker kan de ge möjlighet att utveckla beslutsstöd för effektivare planering och placering av sjukvårdsresurser (exempelvis fältambulanser och helikoptrar) [138].

1.1 Syfte

Studien syftar till att analysera nyttan med AI-teknik för Försvarmaktens sjukvårdsorganisation. Syftet är att skapa en lägesbild av genomförda, existerande och planerade AI-ansatser inom akutsjukvård med särskild tonvikt på omhändertagandet av traumapatienter där lösningarna skulle kunna bidra till att Försvarmakten kan bibehålla sin sjukvårdskapacitet i kritiska lägen. Den utgör ett beslutsunderlag för inriktningen av Försvarmaktens forskning och teknikutveckling och förbereder en teknisk prognos och värdering av identifierade AI sjukvårdskoncept. De frågor som studien ska ge svar på är främst:

- Vilka möjligheter och vilka utmaningar medför AI-förstärkt krigssjukvård?
- Hur långt har man kommit med teknik- och metodutvecklingen inom AI för sjukvård?
- Vilka etiska och juridiska utmaningar ställs Försvarmakten inför vid användandet av AI-förstärkt sjukvård?

Studien har ett kortsiktigt och ett långsiktigt perspektiv. En del av de identifierade koncepten har redan nu en hög mognadsgrad. Därför kan denna rapport främja utvecklingen av demonstratorer och prov och försök. Samtidigt förbereds underlag för framtida forsknings- och utvecklingsprojekt inom försvarsrelaterad medicin, baserade på AI med en tidshorisont på 10-20 år.

1.1.1 Avgränsningar

Studien är avgränsad på så sätt att den inte ämnar till att skapa en heltäckande och uttömmande bild av AI-utvecklingen inom medicinområdet. Bland annat avgränsas AI för sjukhusvård eller rehabiliteringssyften bort. Vidare lämnas identifieringen och utvärderingen av de maskininlärningsalgoritmer som är mest effektiva för de tillämpningar av intresse som uppgift till kommande forskning. Studien har ej heller som syfte att göra en kartläggning av alla de aktörer som skulle kunna beröras av införandet av AI-tekniker inom försvarsmedicinområdet.

1.2 Målgrupp

Rapporten är ett resultat av samarbetet³ mellan FM, FOI, FMV, FHS och KI, och vänder sig i första hand till Försvarmaktens strategiska ledning. Leveran-

³Organisationstillhörigheten för rapportens författare är följande: FM (Yohan Robinsson – Red., Henrik Börjesson och Claes Ivgren), FOI (Marianela García Lozano – Red., Jessica Appelgren, Jonas Clausen Mork, Sofia Hedenstierna, Linus Luotsinen, Jouni Rantakokko och Niclas Wadströmer), FMV (Jenny Gustavsson och Jan Benshof), FHS (Marcus Dansarie) och KI (Klas Karlgren).

sen utgör ett underlag för inriktningen av framtida studier samt forsknings- och teknikutveckling inom försvarsrelaterad medicin. I andra hand riktar sig rapporten till den försvarsmedicinska funktionsledningen, samt förmåge- och materielutvecklingen inom Försvarsmaktens samtliga arenor, där försvarsmedicinska behov ingår i krav och målsättning. Utanför Försvarsmakten riktar sig rapporten till bevakningsansvariga myndigheter, där det finns ett uttalat behov att kunna samordna sjukvårdsresurser i kris och krig [267].

1.3 Metod

Anledningen till att nyttan med AI-förstärkt sjukvård i Försvarsmakten undersöks är ett tydligt identifierat behov i krigsorganisationen (eng. *demand pull*) [260]. Numerären av legitimerad sjukvårdspersonal är begränsad i Försvarsmakten och är en dimensionerande faktor för operativa frihetsgrader. För att identifiera vilka system som kan öka den militära sjukvårdsförmågan måste förutsättningar för eller komponenter i förmågeökningen analyseras. I utvecklingsplanering används inte sällan DOTMLPFI (doktrin, organisation, träning, materiel, personal, ledarskap och utbildning, faciliteter och interoperabilitet) för förmågeanalys [212, 98]. DOTMLPFI ligger till grund för analysen i kapitel 10. Appendix B sammanfattar resultaten från en tidig workshop om potentiella AI-tillämpningar och tematiska områden.

Rapporten bygger dels på omvärldsanalys genom litteraturstudier, dels på kunskapsinhämtning i samband med nationella och internationella forskningssamarbeten. Som komplement har några ostrukturerade intervjuer med kirurger och forskare inom AI genomförts. Anledningen till att en konventionell, kvantitativ litteratursökning av medicinska databaser ej kunde genomföras var att lejonparten av artiklar som handlar om "AI" och "trauma" inte handlar om det egentliga omhändertagandet av traumapatienter i ett akut skede och en försvinnande liten del av dessa rör prehospital eller militärmedicinsk traumavård. Eftersom denna rapport har en framåtblickande karaktär och ställer sig frågor om vad som är möjligt framöver har vi också inkluderat artiklar, rapporter och nyhetsbrev på nätet som diskuterar tidiga idéer, lösningar, projekt och innovationer som ger en bild av forsknings- och utvecklingsläget och som är en typ av information som sällan når vetenskapliga artiklar i de medicinska artikeldatabaserna.

För omvärldsanalysen kunde den Natoleda förstudien som redovisas i appendix C nyttjas, där det rådande kunskapsläget för en sjuktransport med autonoma plattformar togs fram. Deltagandet i Försvarsmaktens egna studier om autonoma plattformar samt prov och försök har bidragit till förmågeanalys och prognos.

Frågeställningar inom etik och juridik analyserades baserat på erfarenhet av området men även på litteratursökningar av de områden som bedömdes vara relevanta.

1.4 Läsanvisning

Kapitlen i denna rapport är tänkta att kunna läsas mer eller mindre självständigt. Efter introduktionen till denna rapport följer bakgrundskapitlet, kapitel 2, som ger en lättfattlig överblick och introduktion till studiens två huvudområden, dvs försvarsmedicin och artificiell intelligens (AI). Kapitel 2 är lämplig för den läsare som önskar lära sig mer om något av dessa båda områden.

I kapitel 3 till 6 hittas olika typer av AI-tillämpningar och passar den läsare som önskar veta mer om forsknings- och utvecklingsfronten. Kapitel 3 ger en tekniköversikt av AI-tillämpningar för akut- och traumavård. Kapitel 4 går ige-

nom de obemannade plattformar som finns inom mark, sjö och luft samt hur de t.ex. kan användas för evakuering av skadade. I detta kapitel diskuteras även autonoma plattformar för autonom försörjning av medicinska förnödenheter. Kapitel 5 fortsätter med att ge en tekniköversikt av biosensorer, triagedrönare och olika AI-baserade ansatser för distansavläsning av triageparametrar såsom andning, hjärtfrekvens, osv. Kapitel 6 avhandlar AI-tillämpningar för robotisk assisterad sjukvård (RAS). Olika hjälpmedel såsom exoskelett och RAS-sjukvårdskapslar diskuteras också i detta kapitel.

För maskininlärning och speciellt djupa neuronnet är data av stor vikt och detta diskuteras i kapitel 7. I kapitel 8 tas etik vid användning av AI inom militär sjukvård samt de utmaningar som detta innebär upp. Kapitel 9 diskuterar de juridiska aspekterna av AI och försvarsmedicin. De lagar och förordningar som påverkas går igenom och de utmaningar som har identifierats tas upp. Kapitel 10 går igenom den eventuella påverkan ett införande av AI-system och tekniker skulle kunna ha på Försvarsmakten och dess sjukvårdsorganisation. En sammanfattning av studien och dess slutsatser återfinns i kapitel 11.

Rapporten har tre appendix, där appendix A förklarar de begrepp och förkortningar som används i rapporten. Appendix B sammanfattar de resultat som en tidig workshop om potentiella AI-tillämpningar gav. Appendix C beskriver Nato-förstudien om autonom CASEVAC som projektet deltagit i.

2 Bakgrund

För att sätta läsaren i en försvarsmedicinsk kontext beskriver första delen i detta kapitel försvarsmedicin som krigsvetenskap, dess operativa planering och tillgängliga sjukvårdsresurser i Försvarsmakten. Därefter ges en översiktlig teoretisk bakgrund till artificiell intelligens för att öka förståelsen för intelligenta agenter, djupinlärning och AI-teknikens sårbarheter och utmaningar. Kapitlet avslutas med en diskussion om autonomi och autonoma system, samt exempel på möjlig framtida användning av autonoma farkoster inom försvarsmedicinska tillämpningar.

2.1 Försvarsmedicin

Försvarsmedicin är en av grundförutsättningarna för Försvarsmaktens verksamhet. Medicinska underrättelser, preventivmedicinska åtgärder, medicinskt omhändertagande med utbildad och övad personal möjliggör insatser i Sverige och utomlands med bibehållen hälsa samt högt stridsvärde. Det försvarsmedicinska syftet att varje soldat eller sjöman som blir sjuk eller skadas ska få rätt medicinskt omhändertagande är väl förankrat i Försvarsmakten [93]. Risken att dö i strid eller få bestående men består av två komponenter [269]:

1. Den förbestämda skaderisken som hänger ihop med motståndarens relativa offensiva förmåga, den egna defensiva förmågan och operationsmiljön.
2. Förmågan att efter skada rädda liv och förhindra posttraumatiska men.

De senaste årtiondena har försvarsmedicin i olika sammanhang reducerats till sjukvård och medicinska underrättelser som sedan använts som delunderlag till exempelvis landrapporter [226, 283]. Men försvarsmedicinens betydelse är större än hälso- och sjukvård och medicinska underrättelser. I följande avsnitt ges en introduktion till försvarsmedicinens krigsvetenskapliga betydelse och dess offensiva förmåga.

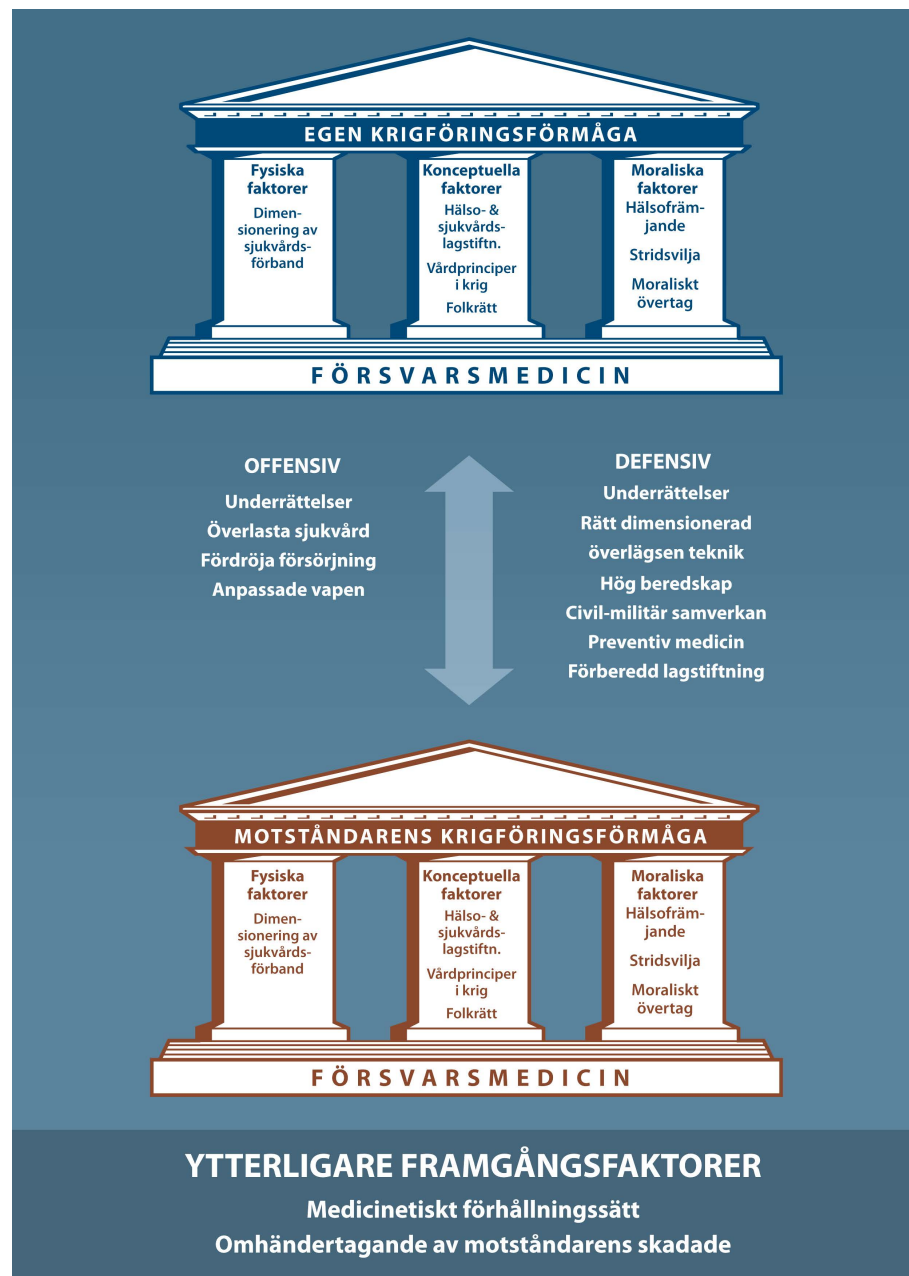
2.1.1 Försvarsmedicinsk krigsvetenskap

Även om det moderna kriget numera genomförs i samtliga domäner¹ och på en skala från gråzon till fullskaligt krig, är användandet av vapensystem med syfte att påverka motståndarens vilja fortsatt grundläggande i all krigföring [96]. Att vapensystem orsakar skadeutfall är oftast önskat i krig då det påverkar motståndarens stridsvilja och dess politiska förutsättningar att bedriva operationen, samtidigt som det förbrukar motståndarens resurser. Behov av sjukvårdsresurser kan därmed beskrivas som stridens och verkans konsekvens.

Försvarsmedicinsk krigsvetenskap omfattar en offensiv gren, där kunskap om motståndarens sjukvårdssystem samt underrättelser om motståndarens sjukvårdsförmågor aktivt bidrar till den operativa planeringen, se figur 2.1. Försvarsmedicinens offensiva och defensiva förmåga går hand i hand vilket t.ex. illustreras i den kemiska och biologiska krigsföringen [88]. Å ena sidan är konsekvenserna av användningen av dessa vapensystemen med överbelastad sjukvård och mänskligt lidande så svåra att vapensystemen har bannlysts av Förenta Nationerna [265] och å andra sidan motiverar hotbilden dessa system utgör flera defensiva försvarsmedicinska åtgärder som motmedel och vaccinering. På grund av försvarsmedicinens offensiva betydelse omfattas stabsläkare,

¹mark, sjö, luft, rymd och cyber

stabssjuksköterska och veterinär i hundtjänst ej av det folkrättsliga skyddet sjukvårdspersonal annars avnjuter i krig [241, 73].



Figur 2.1 – Genom påverkan av offensiva och defensiva fysiska faktorer, den tydliga folkrättsliga och doktrinära förankringen, och inverkan på värdegrund och stridsmoral har försvarsmedicin en central roll i Försvarsmaktens krigsförmåga och för samhällets uthållighet [95] (Grafik: Martin Ek).

Den defensiva grenen i försvarsmedicinsk krigsvetenskap handlar ytterst om säkerhet och riskoptimering, där de egna sjukvårdsresurserna anpassas till motståndarens vapensystem och där det egna stridsvärdet optimeras med preventivmedicinska åtgärder, se figur 2.1. Att alltid kunna omhänderta egna skadade är en framgångsfaktor i strid, inte bara för det fysiska stridsvärdet men

även för soldatens och förbandens stridsmoral [115].

I försvarsmedicinsk krigsvetenskap ingår de moraliska och folkrättsliga överväganden officersprofessionen ställs inför. När civilbefolkningen befinner sig i operationsområdet, kommer den offensiva användningen av försvarsmedicin leda till en överbelastning av civila sjukvårdsresurser och till stort lidande bland civilbefolkningen. Det kommer att minska det egna moraliska övertaget gentemot motståndaren. Att definiera röda kors-märkta sjuktransportfordon och civila sjukvårdsinrättningar som mål är omoraliskt och ett brott mot folkrätten [265], se avsnitt 9.6. Försvarsmedicin kan bidra till ett moraliskt övertag genom medicinskt omhändertagande av skadade motståndare enligt Genèvekonventionen [265].

Påverkan på mänskliga tankar, känslor och handlingar ingår enligt ett amerikanskt koncept i krigsföring inom den mänskliga arenan, som då kallas humandomänen (eng. *human domain*) [288]. I den konceptuella humandomänen spelar den försvarsmedicinska förmågan en viktig roll då den har förmågan att skydda egna förband och civila från motståndarens påverkansoperationer, och fördröjer och hindrar vissa påverkansoperationer mot egna förband och civilbefolkningen. Detta gäller till exempel vid fredsbevarande insatser där en välorganiserad humanitär medicinsk verksamhet kan vinna civilbefolkningens förtroende och minska dess vilja att stödja motståndaren [237].

2.1.2 Försvarsmedicinsk operativ planering

En trovärdig krigsorganisation har bland annat målsättningen att alltid kunna omhänderta sina skadade med högsta möjliga vårdkvalitet. Det sistnämnda är ett resultat av prevention, medicinska underrättelser och dimensionering av sjukvårdsförmågan.

Sjukvårdsbehovet är dimensionerande för militära operationer. Omhändertagandet av skadade fördröjer, binder resurser och minskar uthållighet. Genom att nyttja den insikten kan den bidra till att uppnå önskad effekt enligt den militärstrategiska doktrinen koncept för manöverkrigföring som i korthet kan sammanfattas enligt följande [95]; Svensk krigsföring utgår operativt från manöverkrigföring, som bildar utgångspunkten för strid och operationer. Manöverkrigföring bygger på den ändamålsenliga kombinationen av fysisk bekämpning, informationsoperationer, rörelse och skydd på alla nivåer [95]. Manöverkrigföringens mål är att på ett effektivt sätt påverka, splittra, avskära eller bekämpa en motståndare utifrån fyra växelverkande faktorer – tid, rum, förmåga och ledning.

Försvarsmedicinsk operationskonst är den gemensamma planeringen av militära och civila sjukvårdsresurser för att på effektivaste sätt bibehålla eller återställa soldatens stridsvärde och hälsa. I samband med den operativa planeringen nyttjas sjukvårdsenheter som operativ förstärkning till taktiska enheter. I den operativa försvarsmedicinska planeringen ingår även en analys av motståndarens sjukvårdsförmåga, fysiska status och förebyggande hälsovård. Till exempel har en redan försvagad motståndare, eller en motståndare med brister i förebyggande hälsovård i förhållande till stridsmiljö, en minskad operativ handlingsfrihet. Operativ försvarsmedicinsk planering bygger på underrättelser och planeringsunderlag från huvudsakligen följande informationskällor [115]:

1. Stridsplanen.
2. Skadeutfallsberäkningen.
3. Utlokaliseringen av de stridande enheterna i operationsområdet.
4. Tillgängligheten till medicinska resurser vid förbandens grupperingar.
5. Tillgängligheten till sjuktransportresurser.

6. Civilläget.
7. Tillgänglighet till civila sjukhus i operationsområdet.

Planeringen med tillhörande riskanalys syftar ytterst till soldatens säkerhet.

Försvarmaktens sjukvårdssystem består av definierade sjukvårdsenheter och omfattar den organisation, personal, materiel samt de metoder som krävs för att säkerställa omhändertagandet av skadade eller sjuka soldater och sjömän [97]. Som system återfinns sjukvård i mark-, sjö-, luft- och cyberdomänen. Sjukvårdssystemet består av de fastställda enheterna som varje krigsförband har att bygga upp sitt förbands medicinska förmåga med.

Försvarmakten har som uppdrag att försvara Sverige mot krigshandlingar (nationellt försvar) men stödjer även andra organisationers fredsbevarande insatser utomlands. Under internationella insatser organiseras sjukvården i samarbete mellan flera bidragande nationer och då är det viktigt med interoperabilitet, dvs. att samband, materiel och rutiner fungerar ihop i en internationell kontext. Som grund ligger oftast Natos försvarsmedicinska styrande dokument med tillhörande standardiseringsdokument (STANAG). Nationellt samarbetar Försvarmakten med totalförsvarets civila aktörer och förutsätter ett fungerande civilt sjukvårdssystem, som kan ta emot ett stort antal skadade [25]. Därför måste patientflödet optimeras så att rätt patient hamnar på rätt vårdnivå i rätt tid.

De svenska militära vårdnivåerna bygger på Natos indelning av vårdnivåer (eng. *role* eller *echelon*) [202] och sträcker sig från nivå 0 till 4, se tabell 2.1. Då svensk nivå 3- och nivå 4-sjukvård i krig bedrivs på civila sjukhus måste militära och civila aktörer samverka. Det sker i Sverige inom totalförsvarets ram på regional nivå.



Figur 2.2 – Evakuering av skadade förutsätter en väl fungerande sjukvårdskedja. Tillgången till sjuktransportresurser påverkar förbandets egen rörlighet (Foto: Bezav Mahmod/Försvarmakten).

Tabell 2.1 – Sveriges och Natos indelning av vårdnivåer avseende militär och civil sjukvård [92].

Vårdnivå	Beskrivning	Svensk militär förmåga	Svensk civil förmåga motsv
Nivå 0	Initialt omhändertagande som genomförs av personal som inte är legitimerad hälso- och sjukvårdspersonal.	strids-sjukvårdare	-
Nivå 1	En vårdinrättning på nivå 1 omfattar daglig sjukvård och inkluderar även förmåga till triagering, prehospitalt akut omhändertagande och grundläggande diagnostisk förmåga. På nivå 1 är alltid legitimerad personal närvarande. En nivå 1-inrättning kan även omfatta ett mindre antal vårdplatser och medicinsk förnödenhetsförsörjning.	förbandsplats, sjukvårdsgrupp	ambulans, vårdcentral
Nivå 2	På nivå 2 förstärks en nivå 1-förmåga med en utökad resusciteringsförmåga med liv- och extremitetsräddande insatser och för att stabilisera patienten för transport och behandling.	sjukhuskompani, kirurgitropp	länssjukhus, lasarett
Nivå 3	En nivå 3-vårdinrättning omfattar specialistsjukvård och sjukhusvård, som utöver nivå 2 åtminstone omfattar datortomografi och egen syrgasproduktion.	-	regionalt traumacentra
Nivå 4	En nivå 4-vårdinrättning omfattar det hela spektrumet av militär sjukvård inkluderande högspecialiserad vård (som t ex rekonstruktiv kirurgi, protesförsörjning och rehabilitering).	-	universitetssjukhus

2.1.3 Sjuktransport

Under andra världskriget tog evakueringen av en stridsskadad mer än 10 timmar i genomsnitt, under Koreakriget reducerades tiden till 5 timmar, och i Afghanistan tog evakueringen från skadetillfälle till livräddande kirurgi i snitt 75 minuter [269]. Tidsintervallet från skadetillfället till kvalificerad vård är relevant: att kunna påbörja livräddande kirurgi inom en timme från skadetillfället räddar liv [156]. Försvarmaktens sjukvårdssystem har byggts för att kunna

uppfylla försvarsmedicinens dimensionerande tidskrav, dvs. 10-1-2-regeln med följande tre delar [92, 203, 159]:

- Första hjälpen ska kunna ges på skadeplats/olycksplats inom 10 minuter.
- Medicinsk evakuering (MEDEVAC) med legitimerad hälso- och sjukvårdspersonal, ska kunna påbörjas inom 1 timme från skadetillfället.
- En avancerad bedömning och situationsberoende adekvat åtgärd (inkl kirurgi) ska kunna påbörjas inom 2 timmar från skadetillfället.

Det ligger i förbandets ledningsansvar att säkerställa att 10-1-2-regeln efterföljs. Sjukvårdstaktiken skapar förutsättningar för att med medicinska resurser inom ett insatsområde hantera planerat eller uppkommet medicinskt vårdbehov, t.ex. genom planering av framskjuten kvalificerad sjukvård eller helikopterresurser för medicinsk evakuering.

Då sjuktransportenheter som i figur 2.2 och helikoptrar är knappa resurser påverkar det möjligheten att snabbt och på bästa sätt kunna omhänderta sjuka och skadade. För att detta inte ska leda till en minskad operativ förmåga över tid behöver framskjuten medicinsk expertis och transportresurser förstärkas. Medicinskt AI-beslutsstöd och autonoma system möjliggör en framtida förmågeökning utan att tillföra ytterligare legitimerad sjukvårdspersonal. Studien analyserar därför AI-teknikens möjligheter och utmaningar för den framtida sjukvårdsförmågan i krig.

2.1.4 Smart medicinsk teknik

Att utveckla sinnrik teknik för att stödja omhändertagandet av traumapatienter är inte något nytt. Redan tidigt har verktyg utvecklats för att underlätta vården av patienter med penetrerande skador. Den franska 1500-talskirurgen Ambroise Paré betraktas som en föregångare inom kirurgi och behandling av skottskador och han uppfann också ett antal kirurgiska instrument. Redan på hans tid fanns en imponerande uppsättning verktyg för att avlägsna penetrerande föremål och Parés metoder bidrog till att minska de sårades plågor [213].

I underhållning och film kan teknik ha en central roll i omhändertagandet av svåra traumafall. I filmen *Rymdimperiet slår tillbaka* får Luke Skywalker en robotarm som ersättning för den arm som Darth Vader amputerade med ett lasersvård – robotarmen har inspirerat och namngett en riktig protes (the LUKE arm) som möjliggör finmotoriska rörelser och förnimmande av känslor [270]. I en annan Stjärnornas Krig-film, *Mörkrets Hämd*, får Anakin Skywalker kraftiga brännskador och förlorar benen varpå ett antal robotkirurger ersätter de förlorade kroppsdelarna med mekaniska proteser, dock av någon anledning utan narkos. I serien *Star trek: Voyager* finns det en holografisk läkare kallad *The Doctor* som i nödfall är tänkt att sköta rymdskeppets sjukhytt [305]. Det är en helt AI-baserad enhet som tar över om skeppets riktiga läkare skulle bli tillfälligt oförmögen att utföra sitt jobb. I det första avsnittet i serien dödades hela läkarteamet och The Doctor fick träda i tjänst på heldid.

Smart utformade verktyg och utrustning kan vara mycket användbara, men det som gör lösningar baserade på AI intressanta är de mänskliga egenskaper de har potential att uppvisa:

- De kan utvecklas och lära sig från fall till fall (specialisering).
- De kan anpassa sig till patienten, situationen och användaren (flexibilitet).
- De kan uppvisa självständighet (autonomi) och kan påminna, ge råd, rekommendationer och varningar t.o.m. före något allvarligt inträffat (prediktivitet).

Intressant är också de inte särskilt mänskliga, utan snarare övermänskliga egenskaper som AI-system kan bidra med:

- De kan hantera enorma datamängder under extrem tidspress utan att göra slarvfel och blixtnabbt kunna analysera data.
- De kan upptäcka nya mönster i data och använda dessa för att göra förutsägelser och upptäcka nya handlingsalternativ.
- De kan se trender i stora datamängder som kan vara svåra att upptäcka manuellt.
- De kan agera på ett konsekvent sätt oavsett hur länge AI-systemet har jobbat.

2.2 Artificiell intelligens

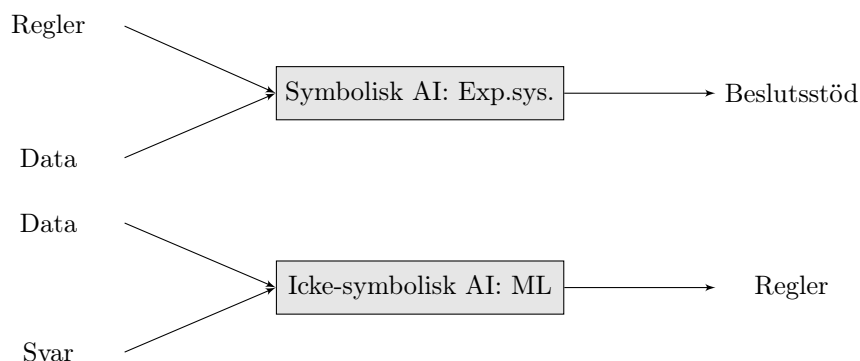
John McCarthy vid Stanford-universitetet myntade AI-begreppet 1956 och har definierat det som "vetenskapen och tekniken att skapa intelligenta maskiner" [181]. Forskningsområdet strävar efter att efterlikna mänskligt beteende eller tänkande och att utveckla något likvärdigt eller bättre. McCarthy var dock tydlig med att området inte behövde begränsa sig till metoder som är biologiskt observerbara. Några tillämpningsområden som han själv nämnde var spel (t.ex. schack), taligenkänning, språkförståelse, datorseende och expertsystem².

Historiskt skiljer AI-forskarna mellan två typer av AI – symbolisk och icke-symbolisk AI. *Symbolisk AI* bygger på att programmerare skriver algoritmer som beskriver och analyserar problemet och underlaget för lösningen på ett sätt som ter sig rimligt för människor. Man drar nytta av att datorer snabbt kan hantera stora datamängder utan att tröttna eller slarva. I princip är det dock samma arbetssätt som en människa med obegränsat med tid skulle använda. Expertsystem är ett exempel på en symbolisk AI-teknik som var populär på 80-talet. Dessa system består av två delar: 1) en kunskapsdatabas som består av kända regler och fakta (kan t.ex. vara data från diverse sensorer); och 2) en algoritm, t.ex. Rete-algoritmen, som iterativt uppdaterar systemets tillstånd genom att systematiskt matcha regler med befintliga fakta för att på detta vis skapa nya fakta. En stor utmaning med symbolisk AI är att vi människor inte alltid kan förstå processen som vi försöker modellera. T.ex. tenderar reglerna i ett expertsystem att vara alltför grovhuggna vilket leder till trubbiga AI-system med otillräcklig prestanda och träffsäkerhet.

En annan ansats är *icke-symbolisk AI* där både maskininlärning och djupinlärning ingår. I denna kategori ges underlag för att lösa en uppgift och AI-systemet får själv pröva sig fram eller lära sig en användbar lösning. Lösningarna som systemet skapar tenderar att vara komplexa och svåra för människor att tolka (dvs. icke-symboliska). Djupinlärning har under de senaste decennierna visat sig prestera bättre än symboliska AI-tekniker i tillämpningar där reglerna varit svåra att skapa manuellt t.ex. inom textanalys, talsyntes och datorvision. Djupinlärning är vad vi idag slarvigt kallar för AI, detta trots att AI innefattar många andra tekniker såsom genetisk programmering, multi-agent system, agentbaserad modellering, beteendeträd, tillståndsmaskiner osv. Figur 2.3 förtydligar skillnaden mellan ett symboliskt expertsystem och ett icke-symbolisk maskininlärningssystem [44]. Notera att maskininlärning används för att skapa regler som i sin tur kan användas för beslutsstöd.

Två AI-relaterade områden är av specifikt intresse för den framtida sjukvårdsförmågan – maskininlärning med det tillhörande delområdet djupinlär-

²Expertsystem är program som försöker fånga mänsklig expertis för att utföra en viss typ av uppgifter.



Figur 2.3 – Symbolisk vs. icke-symbolisk AI. Symboliska AI-tekniker bygger på att regler är kända innan programmering kan ske. Med icke-symbolisk AI, maskininlärning, skapas regler av en inlärningsalgoritm givet ett dataset som består av indata (t.ex. en bild) och utdata/svar (t.ex. objekt som bilden innehåller).

ning och autonoma system. I följande avsnitt går vi igenom dessa i lite närmare detalj, tar upp några utmaningar samt vad forskningsfronten har att erbjuda.

2.2.1 Maskininlärning

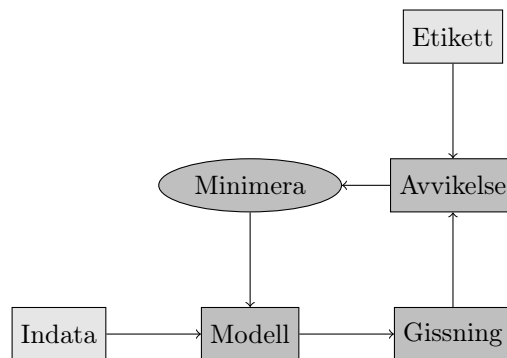
Maskininlärning är en AI-teknik där mjukvarans logik skapas av algoritmer i datorer istället för av mänskliga programmerare. Gemensamt för alla maskininlärningstekniker är att de kräver data i någon form för att inlärning skall kunna ske.

Övervakad inlärning

Den vanligaste typen av maskininlärning är övervakad (eng. *supervised*). Vid övervakad inlärning består data av en samling observationer där varje observation har tolkats och tilldelats en etikett (eng. *label*) av oss människor. Vid träning bygger algoritmen en matematisk modell som anpassar sig till den givna datamängden. Ett exempel på en typisk tillämpning är huruvida en bild visar en cancertumör eller ej. Vid inlärning är målet att iterativt justera modellens parametrar så att den begår så få misstag som möjligt genom att matcha modellens gissning (cancertumör eller ej) mot det rätta svaret, dvs. etiketten som systemet också har fått. Om gissningen var fel, t.ex. en bild visade cancertumör men systemet gissade inte-tumör beräknas en avvikelse som används till att finjustera modellens parametrar. Denna process upprepas till dess att inlärningsalgoritmen inte klarar av att ytterligare förbättra modellens träffsäkerhet. Figur 2.4 illustrerar det typiska flödet i övervakad inlärning där de ljusgråa boxarna representerar träningsdata med tillhörande etiketter och övriga boxar representerar inlärningsalgoritmens olika faser. Fördelen med övervakad inlärning är att den är intuitiv och att dess inlärningsprocess är relativt enkel att övervaka, t.ex. kan modellens lärande följas och vid behov justeras inlärningsalgoritmens inställningar därefter. Nackdelen är att det är tidskrävande och kostsamt att skapa etiketterna på den data som krävs för inlärning.

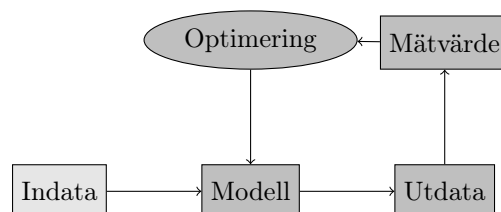
Oövervakad inlärning

Till skillnad från övervakad inlärning sker oövervakad (eng. *unsupervised*) inlärning med data som inte har någon etikett. Fördelen med detta angreppssätt



Figur 2.4 – Övervakad inlärning: Inlärning sker iterativt givet stora mängder data med tillhörande etiketter. En typiskt iteration består av att modellen först bearbetar indata och gissar dess innehåll t.ex. cancer eller inte cancer. Modellens gissning jämförs sedan med etiketten dvs. det sanna värdet på innehållet i data, och en eventuell avvikelse beräknas. Avvikelsen används slutligen av inlärningsalgoritmen för att justera modellens parametrar så att avvikelsen minimeras dvs. om samma indata skulle presenteras direkt efter att modellen har uppdaterats så ska avvikelsen vara mindre jämfört med tidigare.

är att människans arbetsinsats avlastas ytterligare då datorn får göra mer av jobbet. I figur 2.5 presenteras flödet för oövervakad inlärning där ljusgrå boxen representerar indata och övriga boxar inlärningens olika faser. I detta fall analyseras indata av modellen och en matematisk funktion skapar ett mätvärde som kan användas för att justera/optimera modellens parametrar. I vissa fall kan mätvärdet liknas med en etikett som i detta fall skapas automatiskt av datorn istället för av en människa (även om det är människan som har designat funktionen som räknar ut mätvärdet).



Figur 2.5 – Oövervakad inlärning: Inlärning sker iterativt genom att stora mängder oannoterad data bearbetas av inlärningsalgoritmen. Modellen optimeras baserat på mätvärden som skapas av tumregelbaserade matematiska funktioner.

Läsaren kan fråga sig varför utvecklare inte alltid använder oövervakad inlärning eftersom den metoden är mer automatiserad jämfört med övervakad inlärning. En anledning är att oövervakade inlärningsalgoritmer använder tumregelbaserade funktioner, t.ex. diverse avståndsmått, för att beräkna mätvärden och det är inte självklart att dessa fungerar bra i alla tillämpningar.

Oövervakad inlärning används typiskt för att klustra, komprimera, dimensionsreducera och visualisera data. Vidare är dessa AI-tekniker vanliga i anomalidetektionstillämpningar där data som representerar normalbilden existerar i överflöd samtidigt som de registrerade avvikelserna är fåtaliga, t.ex. 99% icke-cancer och 1% cancer. Ett sådant AI-system är i princip omöjligt att skapa med övervakad inlärning eftersom inlärningsalgoritmerna typiskt kräver

att data är balanserad över de klasser som skall detekteras (i bästa fall 50% cancer och 50% icke-cancer).

Förstärkt inlärning

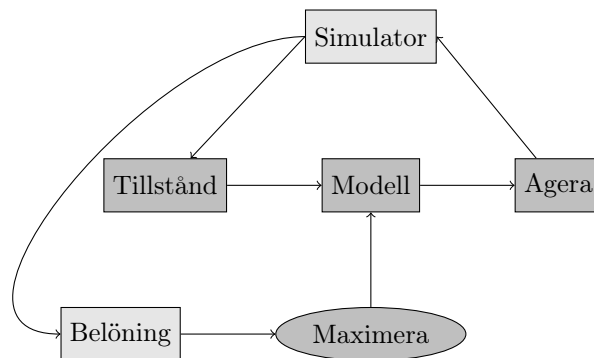
Förstärkt inlärning (eng. *reinforcement learning*) skiljer sig från övervakad och oövervakad inlärning i den bemärkelsen att modellen tränas med målet att välja de handlingsalternativ som förväntas resultera i maximal framtida belöning. Denna inlärningsmetod har visat sig vara ytterst framgångsrik för att skapa intelligenta AI-system som kan agera med övermänsklig kapacitet i många olika spel (t.ex. bräddspel, kortspel och datorspel). Flera exempel finns på tillämpningar där AI-system tränade med förstärkt inlärning klår de allra bästa mänskliga experterna. T.ex. har tekniken använts för att skapa en artificiell spelare som nådde *grandmaster* nivå i strategispelet StarCraft II [289] och en robot som lyckades slå koreanska topplag i Curling [307]. Ytterligare en intressant aspekt av förstärkt inlärning är att modeller som skapas med tekniken ibland föreslår överraskande lösningar, t.ex. schackdrag, som människor inte nödvändigtvis har tänkt på.

Inlärning sker genom att modellen provar ett stort antal sekvenser av handlingsalternativ (eng. *rollouts*) i en simulator. Om en sekvens är framgångsrik så justerar inlärningsalgoritmen modellen så att sekvensens handlingar förstärks (dvs. dessa handlingar kommer att föreslås av modellen mer ofta). På samma sätt bestraffas sekvenser där handlingar inte resulterade i ett önskat sluttillstånd (dvs. dessa handlingar kommer att föreslås av modellen mer sällan). I förstärkt inlärning är det alltså simulatoren som producerar den data som inlärningsalgoritmen använder sig av för att kunna träna modellen. Precis som i oövervakad inlärning krävs ingen annotering av datamängden utan detta sker per automatik med en s.k. belöningsfunktion (som är designad av människor). Inlärningsprocessen beskrivs övergripande i figur 2.6 där de ljusgrå boxarna representerar ingångsvärden (simulator och belöningsfunktion) och övriga boxar inlärningsprocessens olika steg. Simulatoren presenterar initialt ett tillstånd som modellen använder som indata för att producera ett handlingsalternativ. När detta handlingsalternativ sedan verkställs eller injiceras i simulatoren så förändras tillståndet varpå en belöning kan beräknas. I praktiken belönas handlingsalternativ retroaktivt dvs. efter att en längre sekvens av handlingsalternativ har genomförts. Belöningen används sedan för att uppdatera modellen.

En stor utmaning med förstärkt inlärning är att designa belöningsfunktionen så att den inte belönar handlingar som är oönskade. Det är t.ex. inte ovanligt att AI-spelare i datorspel uppvisar självskadebeteenden där AI-spelaren medvetet skadar sig för att sedan belönas när den hittar ett sätt att återställa sitt hälsotillstånd (typiskt genom att använda hälsopack som är en form av virtuella första hjälpen kit i datorspel) [45]. Ytterligare en utmaning är att algoritmerna typiskt inte hanterar tillämpningar där långa sekvenser av handlingar krävs för att ett belöningsvärde skall kunna beräknas.

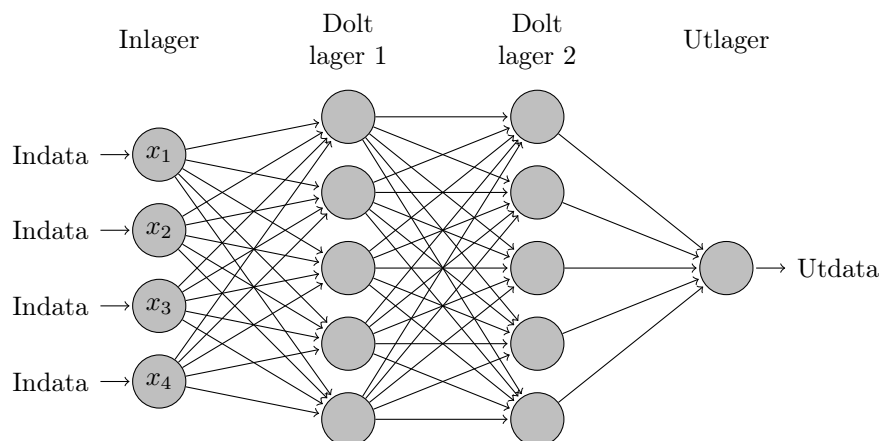
2.2.2 Djupinlärning

Djupinlärning (eng. *deep learning*) är en maskininlärningsteknik där modellen uteslutande representeras av djupa neuronät [127]. Modellen med neuronät är tagen i en analogi till de biologiska neuronät som finns. Djupinlärningens neuronät har dock inget att göra med biologiska funktioner. Ett djupt neuronät är i praktiken inget annat än en deriverbar matematisk funktion som är modulärt uppbyggd med olika varianter av neuronlager. Figur 2.7 är ett exempel på hur ett fullt sammankopplat neuronät kan visualiseras. I detta fall bearbetas indata lagervis av neuronerna som är representerade av noder i grafen från



Figur 2.6 – Förstärkt inlärning: Inlärning sker genom att en modell skapar handlingsalternativ som förändrar tillståndet i en simulering. En belöningsfunktion används sedan för att bedöma om tillståndet har förbättrats eller försämrats varpå modellens parametrar justeras för att förstärka de handlingsalternativ som resulterade i önskat tillstånd.

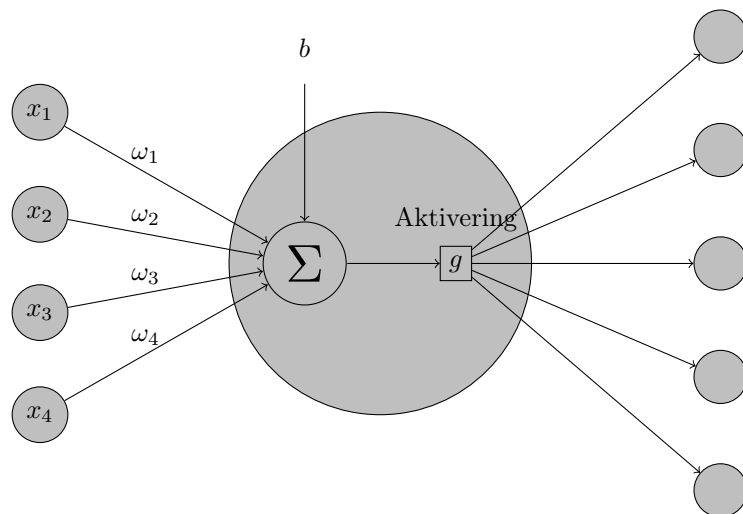
vänster till höger. Neuronernas uppgift, se figur 2.8, är att beräkna summan av produkterna av indata (x) och dess parametrar (ω). Detta värde omvandlas slutligen av en s.k. aktiveringsfunktion, g , och skickas sedan vidare som indata till nästa lager med neuroner.



Figur 2.7 – Djupa neuronnät: Indata bearbetas lagervis från vänster till höger.

Djupa neuronnät kan användas för såväl övervakad-, oövervakad och förstärkt inlärning, se avsnitt 2.2.1. Modellen som återfinns i figur 2.4, figur 2.5 och figur 2.6 utgörs då av ett djupa neuronnät vars parametrar, ω , justeras av neuronnätets inlärningsalgoritm givet den träningsdata som finns tillgänglig. I djupinlärning är det i de flesta fall varianter av samma inlärningsalgoritm, dvs. *back-propagation* och *gradient decent*, som används för att uppdatera neuronnätets parametrar oavsett om det är övervakad, oövervakad eller förstärkt inlärning som tillämpas. En utförlig beskrivning av hur inlärningsalgoritmen fungerar ligger utanför ramen för denna rapport, den intresserade läsaren hänvisas istället till [175].

Det som gör att djupa neuronnät ofta uppnår oöverträffad prestanda i många tillämpningar där andra symboliska och icke-symboliska AI-tekniker tidigare misslyckats kan attribueras till dess förmåga att lära sig hur rådata bör representeras (förädlas/omvandlas) för att modellen skall generalisera över



Figur 2.8 – Neuron: Summan av produkterna av neuronens indata, x , och dess parametrar, ω , passerar genom en aktiveringsfunktion, g . Värdet som neuronerna beräknar matas sedan vidare som indata till nästa lager av neuroner. Parametern, b , kallas för bias och är speciell i den mening att den inte är kopplad till någon indata.

diverse transformationer (t.ex. skala, position och rotation). Detta kallas för representationsinlärning. En bra modell ska t.ex. kunna identifiera ansikten i bilder oavsett vart i bilden ansiktet ligger (position), hur stort eller litet ansiktet är i bilden (skala) och om ansiktet lutar åt något håll (rotation). Innan djupinlärning, försökte människan lösa detta problem genom att förbehandla rådata med s.k. förädlingsfunktioner (eng. *feature engineering*). Detta angreppssätt har visat sig vara problematiskt då människans intuition om vad som är en lämplig representation för AI-systemets inlärningsförmåga inte är den bästa. Värt att nämna är också att även om konceptet djupinlärning inte är något nytt, så har inlärningsalgoritmerna börjat fungera först under det senaste decenniet (från ca 2010) som ett resultat av att stora mängder data blivit alltmer tillgängliga och att AI-forskarna listat ut hur inlärningsalgoritmens beräkningar kan formuleras i termer av tensorer och matriser som är enkla att parallellisera i t.ex. grafikprocessorer.

Djupinlärning är det område inom AI som idag har störst potential att kunna användas för att lösa verkliga problem, dvs. problem som inte är tillrättalagda i AI-forskarnas laboratorier. Det är dock viktigt att poängtera att djupinlärning idag endast kan användas för att lösa specifika uppgifter (s.k. svag AI) och att det finns flertalet utmaningar med tekniken som gör att den inte kan eller är lämplig att använda i vissa tillämpningar. Till skillnad från många civila AI-tillämpningar, t.ex. rekommendationssystem för musik och film, så finns det utmaningar med djupinlärning som anses vara särskilt försvårande i en försvars- och säkerhetskontext där människors liv ofta påverkas på djupet. I resterande delar av detta kapitel kommer vi att belysa några av de största utmaningarna med djupinlärning samt presentera lösningsförslag från forskningsfronten med avseende på dessa.

Partiskhet

Något som ofta diskuteras i samband med AI är att systemen är subjektiva, fördomsfulla och uppvisar partiskhet (eng. *bias*). Detta innebär i grunden att

AI-systemen har ett skevt eller diskriminerande beteende jämfört med normal-bilden för situationen eller de moraliska värderingar som finns i samhället [53].

Denna partiskhet är ofta ett resultat av att träningsdata är obalanserad samt att dess etiketter har skapats av en alltför homogen grupp av människor som inte nödvändigtvis är objektiva i sin bedömning av innehållet. T.ex. kan ett analysystem som tränas med en skev könsfördelning i träningsdata leda till att systemet lär sig att sortera bort individer som inte har det dominerande könet. Vidare kan partiskhet introduceras som ett resultat av att det finns data som vi av olika anledningar (moraliska, statistiska, juridiska osv.) inte använder för att träna systemen. Detta leder till att systemen saknar en del av bilden och därmed också blir *blinda* för dessa saker.

Partiskhet kan också föras av inlärningsalgoritmens design där val av avrundningsalgoritmer, samplingsalgoritmer, mätvärden, belöningsfunktioner osv. påverkar AI-systemens beteende.

Alla sorters partiskhet som ett AI-system uppvisar behöver inte nödvändigtvis vara av ondo. Det är dock viktigt att vara medveten om var de kan introduceras (t.ex. utvecklingsgruppen är för homogent utformad) för att upptäcka dem och avgöra hur, eller om, de ska hanteras.

Förklarbarhet

En utmaning som begränsar tillämpningen av djupinlärning i en försvars- och säkerhetskontext är att beteendet hos djupa neuronnet är svåra att tolka och förstå samt att testa, verifiera och validera för oss människor. Även om traditionella system också kan vara mycket komplexa och svåra att tolka så kan dessa brytas ner i en hierarki av delmoduler och komponenter som i sin tur är begripliga och som var för sig kan testas, verifieras och valideras.

Förklarbar AI (eng. *explainable AI*) eller XAI är ett forskningsområde som har funnits sedan 1980 [106]. XAI har på senare år fått alltmer uppmärksamhet i takt med att fler djupinlärningsbaserade AI-system har tillämpats med överträffad prestanda och därmed blivit intressanta för tillämpning i en försvars- och säkerhetskontext. I militära AI-tillämpningar är syftet med XAI i huvudsak att bidra till:

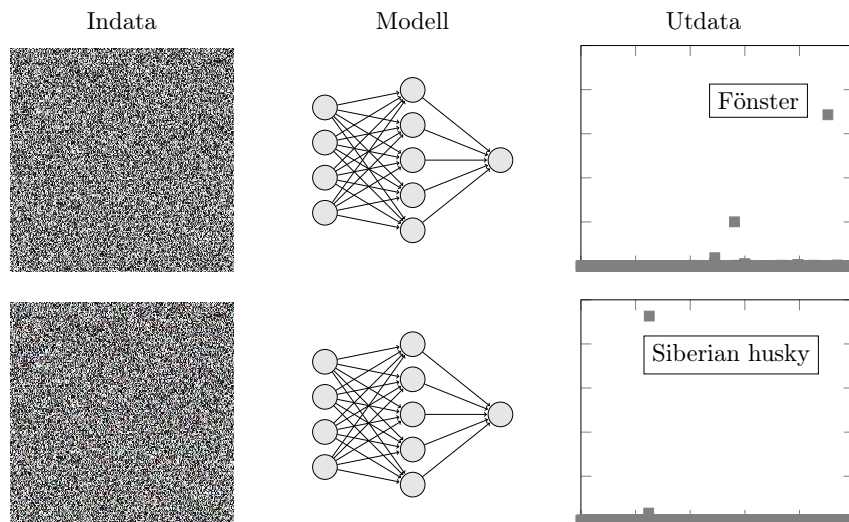
- Att operatörer har en lämplig *mental modell* över hur systemet fungerar [129, 130]. Oavsett om systemet bygger på AI eller inte så är det av yttersta vikt att operatören har en känsla för hur systemet fungerar för att systemet skall kunna användas på ett effektivt och säkert sätt.
- Att nya *insikter* kan identifieras av slutanvändare (operatörer, beslutsfattare, forskare etc.) när djupa neuronnet har använts för att modellera komplexa processer och förlopp (t.ex. för taktikutveckling på olika nivåer i krigs- eller krissituationer) [160, 239].
- Att AI-systemen följer de *lagar och förordningar* som gäller vid såväl fred som krig [109, 236, 287].
- Att AI-system kan felsökas [160, 119]. Vanliga fel som uppstår vid utveckling av neuronnet är att träningsdata innehåller artefakter som inlärningsalgoritmen kan exploatera.

XAI-tekniker är idag främst utvecklade till stöd för modellutvecklare för att identifiera fel och avvikelser. Mer forskning krävs för att utvärdera om och hur dessa XAI tekniker också kan stödja skapandet av lämpliga mentala modeller hos slutanvändaren, vid taktikutveckling, samt för att säkerställa att AI-systemen följer lagar och förordningar.

Sårbarheter

Det har visat sig att djupa neuronät kan vilseledas genom att manipulera indata (eng. *adversarial examples*) [108]. Denna typ av angrepp har bl.a. demonstrerats i AI-system utvecklade för objektklassifikation i video [14], transkribering [33], trafikskyltsklassifikation [71] samt för att vilseleda autopiloten i självkörande bilar [2]. Medicinska system är inte heller immuna mot attacker [75]. Även om många försvarsmekanismer har föreslagits så har ingen hitintills varit robust mot variationer eller anpassningar av attackmekanismen. Denna typ av attack designas typiskt så att den inte kan upptäckas av människor vilket gör att den i framtiden kan komma att utgöra ett hot mot de AI-system som redan idag används för att analysera stora mängder sensorinformation (text, bilder, ljud etc.) i en försvars- och säkerhetskontext.

Ett exempel på en attack mot en bildklassificerare illustreras i Figur 2.9. I detta fall har vi använt oss av en brusig bild som exempel. Bilden skulle dock lika gärna kunna innehålla vilka objekt som helst, t.ex. militära fordon, soldater och civila. Den översta bilden i figuren är originalet som inte har manipulerats och den nedre bilden är manipulerad. Det är i princip omöjligt för en människa att se skillnad mellan bilderna men för neuronätet är skillnaden stor. I grafen till höger visualiseras neuronätets klassning av bilden där x-axeln representerar tusen olika klasser och y-axeln sannolikheten för varje klass. Den övre bilden klassificeras som ett fönster med en sannolikhet på ca. 0.65 medan den manipulerade bilden klassificeras som en hund (Siberian husky) med en sannolikhet på ca. 0.95. Klassen som neuronätet detekterar i den manipulerade bilden är helt och hållet styrd av angriparen och skulle lika gärna kunnat vara någon av de andra 999 klasserna.



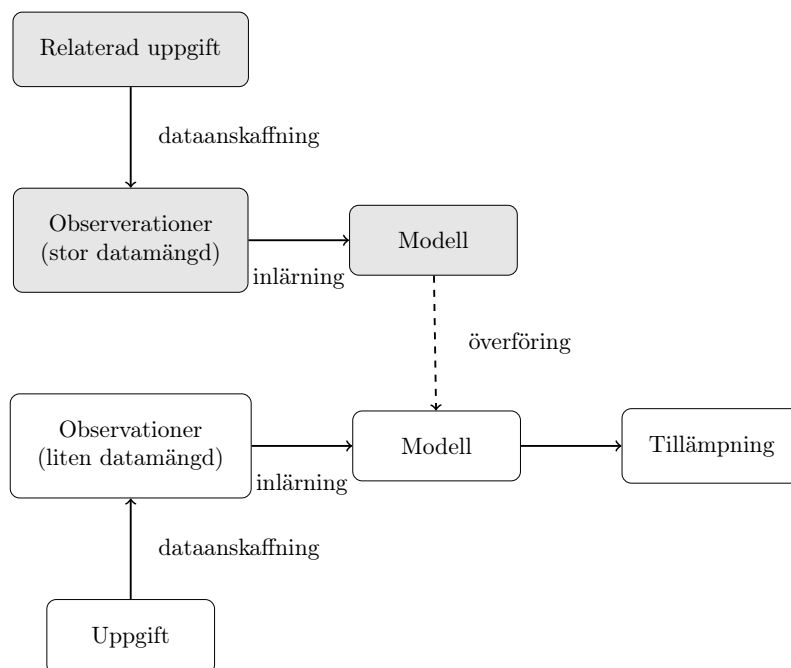
Figur 2.9 – Exempel på hur indata kan manipuleras för att vilseleda ett normalt sett väl fungerande djupt neuronät ämnat för bildklassificering. Den övre raden visar en brusig bild där neuronätet anser att det är mest likt ett fönster med en sannolikhet på ca. 0.65. När den undre och manipulerade bilden används som indata så anser neuronätet att bilden med stor sannolikhet innehåller en hund (Siberian husky) med en sannolikhet på ca. 0.95. Vi människor har svårt att se någon skillnad alls på de båda bilderna.

Databrist

Mängden data som krävs för att träna ett djupt neuronnet som består av hundratusentals parametrar utgör ofta en flaskhals vid utveckling av djupinlärningsbaserade AI-system.

I praktiken kringgås ofta flaskhalsen med databrist genom att återanvända neuronnet som tränats för att lösa liknande uppgifter, t.ex. detektera objekt i bilder eller att analysera text på internetforum, via s.k. överföringsinlärning (eng. *transfer learning*). Grundidén är att neuronnetets generella förmågor att t.ex. identifiera former (cirklar, linjer etc.) eller texturer i bilder är relevanta oavsett vilken annan bildanalystillämpning som efterfrågas. Vid överföringsinlärning återanvänds modeller som empiriskt har visat sig ha god överföringsförmåga. Grundmodeller skapas givet stora dataset och av aktörer som har tillgång till kraftfulla beräkningsresurser. Figur 2.10 illustrerar övergripande hur överföringsinlärning kan tillämpas i praktiken.

Metainlärning (eng. *meta-learning*) är en naturlig vidareutveckling av överföringsinlärning där målet är att optimera modellens förmåga att lära sig att lära. Metainlärning kan i teorin tillämpas på alla typer och arkitekturer av neuronnet avsedda för såväl övervakad som förstärkt inlärning [76]. Metainlärning kan också ske oövervakat [133, 149] vilket kanske är det mest lovande angreppssättet då inlärning i detta fall kan ske utan mänsklig bearbetning av datamängden. AI-systemet blir således mer självständigt och dess förmåga att kontinuerligt dra lärdomar från data (allteftersom den blir tillgänglig) ökar.



Figur 2.10 – Konceptuell beskrivning av överföringsinlärning. Överföring sker från en förtränad modell (grå boxar) av en uppgift som liknar den uppgift som skall modelleras (vita boxar). Med liknar avses här att data är av samma typ (t.ex. bild, text och ljud). Fördelen med överföringsinlärning är att mindre data kan användas för inlärning samt att behovet av beräkningskraft minskar.

2.3 Autonomi och autonoma system

Entydiga definitioner av de centrala begreppen *autonom* och *autonomi* saknas. Nationalencyklopedin definierar ordet autonomi som självständighet eller oberoende men innebörden av orden varierar utifrån vilket sammanhang de används i. Försvarsmakten definierar exempelvis inom ledningssystemområdet autonomitet som förmågan att bibehålla tekniskt ledningsstöd för en enhet när förbindelser med andra enheter bryts, medan de militära enheternas möjlighet till autonomt uppträdande istället utgör en central del i uppdragstaktiken [94]. Även inom andra områden såsom teknologi, medicin, etik, folkrätt och politik skiljer sig betydelsen åt [304].

En av osäkerheterna rör även hur oberoende eller självständigt ett system behöver vara för att klassificeras som ett autonomt system. Inom flera områden används därför olika graderingar av nivån på autonomi. Det gäller bland annat inom (civila) självkörande fordon som använder sig av en femgradig skala [234]. Inom militärteknik saknas en internationellt allmänt vedertagen definition av autonomi och autonoma system, där olika organisationer tagit fram egna förslag på indelning av autonominivåer. Exempelvis har försvarsdepartementet i USA en definition som de försöker få accepterad medan de olika försvarsgrenarna fortfarande använder sig av egna definitioner. Även försvarsalliansen Nato har en egen indelning. Denna problematik analyseras bland annat i [306] där författarna rekommenderar att istället för autonoma system använda uttrycket *system med autonoma funktioner*.

Ett autonomt system kan beskrivas som ett avancerat tekniskt system som, helt eller delvis, självständigt utan direkt styrning av en människa kan lösa specifika uppgifter. Ett autonomt system inbegriper ofta någon form av artificiell intelligens. Denna definition används i denna rapport. Ingen väldefinierad gräns finns definierad mellan autonoma och automatiska system, skillnaden är närmast filosofisk. Var gränsen går bedöms ofta utifrån hur intelligent systemet bedöms vara. Enklare tekniska system som självständigt (automatiskt) utför vissa uppgifter benämns inom medicinsk teknik ofta som closed-loop system.

3 AI-teknik för akut- och traumasjukvård

I detta kapitel presenteras en tekniköversikt med fokus på AI som kan fungera till stöd för omhändertagande av traumapatienter. Det ingår i akutsjukvård att ta hand om många patienter samtidigt, varav flera kan vara kritiskt skadade, och att snabbt ta till sig patientinformation och kliniska data för att kunna fatta snabba beslut. Våra möjligheter att dela vår uppmärksamhet och hantera information är dock begränsade och påverkas starkt av tidspress. Samtidigt har det aldrig tidigare funnits så mycket tillgänglig information för vårdpersonalen att ta del av vid diagnos och val av behandling. Det är i sådana situationer AI-system kan ha en viktig roll. Användningen av AI har slagit igenom särskilt inom bildbehandling och dermatologi¹, men endast i begränsad omfattning inom akutsjukvården och på akutmottagningarna [311]. Akutsjukvården har utmaningar som kan ha bidragit till att de har hamnat på efterkälken i utvecklandet av AI såsom oförutsägbara flöden snarare än schemalagda patienter, komplexa patientfall innefattande de allra sjukaste och mest skadade patienterna, udda tjänstgöringstider, väntetider och hård belastning på mottagningarna. Sådana utmaningar ställs yttermera på sin spets inom försvarsmedicin. Framöver förväntas dock AI-stöd komma att skräddarsys för beslutsfattande inom akutsjukvården, vilket kommer att inte bara öka effektiviteten utan även kunna förbättra vårdkvaliteten och minska antalet fel [311].

Även om AI inte fått ett så stort genomslag inom akutmedicin har intresset för användning av AI och maskininlärning ökat. I försök till överblicka hur AI använts inom akutsjukvården har AI-tillämpningarna kategoriserats i tre områden [169]:

1. Prediktiv modellering – AI-system har t.ex. använts för att förutsäga antalet inkommande patienter och också återbesök. AI har också använts för att förutsäga akuta kranskärslssyndrom, njurkolik, mortalitet² och morbiditet³ [167, 64, 139]. AI och maskininlärning har visats kunna överträffa konventionella skalor såsom *the Trauma and Injury Severity Score* i uppgiften att prediktera överlevnad hos traumapatienter [240].
2. Patientövervakning – AI-system har istället haft rollen att övervaka patienter som är utan tillsyn på akutmottagningen [50, 47]. AI kan då användas för att koppla till olika former av varningssystem (eng. *early warning systems*) och för att assistera vid beslutsfattande. Nan Liu et al. nämner också hur övervakning av fysiologiska data såsom elektrokardiogram (EKG) kan användas för att förutsäga eventuella hjärtproblem [168, 166].
3. Resurshantering på akutmottagningen – ett organisatoriskt fokus på arbetsbelastningen på akutmottagningar där AI använts till att optimera resursutnyttjandet och patientflöden. Författarna placerar arbeten som försöker använda AI till att triagera patienter utifrån bedömningsskalor och rapporter från datortomografiundersökningar (DT/CT), i detta området också.

Bildförståelse, datorseende och robotik har identifierats som utforskade områden inom akutsjukvård [169]. Något överraskande läggs inte ett så särskilt starkt fokus på att stödja det egentliga akutmedicinska arbetet utan fokus hamnar ofta vid sidan om på organisatoriska aspekter och prediktion av patientflö-

¹Läran om huden och dess sjukdomar

²Dödlighet

³Sjuklighet

den. Patientövervakning och prediktiv modellering ligger närmast det kliniska arbetet men beslutsfattande nämns nästan bara i förbigående. En aspekt som inte diskuteras i översikten är vem som ska dra nytta av den artificiella intelligensen. Det tycks som att ett underliggande antagande är att det är läkare eller specialister på en akutmottagning och det är också där den mesta forskningen har gjorts. Det är därför naturligt att snegla på vad som gjorts i denna kontext för att undersöka huruvida dessa projekt kan vara överförbara eller till inspiration för prehospital vård och/eller för lekmän utanför sjukhuset.

3.1 Tidiga AI-stöd för hantering av komplexa traumafall

En grupp av forskare vid University of Pennsylvania presenterade 1990 ett AI-stöd för vård av skadade med multipla trauma [295, 296]. TraumAID-systemet var tänkt att ta vid efter det att läkarna tillämpat det de lärt sig på *Advanced Trauma Life Support*-kurser (ATLS) om bedömning, återupplivning och stabilisering av allvarligt skadade patienter. TraumAID är ett regelbaserat expertsystem som ska stödja den fortsatta vården av penetrerande skador. Systemet försöker hantera det som krävs utifrån typen av skada, behovet att anpassa möjliga procedurer till tillgängliga resurser, anatomi, tillgänglig kompetens och avvägningar mellan konkurrerande skador. Eftersom utvecklarna fick uppdraget av den amerikanska marinen arbetade de också med anpassning av regelsamlingen till hur den skulle kunna tillämpas på ubåtar med begränsade resurser. Om t.ex. diagnostisk utrustning saknades på ubåten behövde regelsamlingen anpassas till att undersökningar och prover inte kunde pröva medicinska hypoteser på ett sätt som skulle varit brukligt i miljöer med tillgång till sådan utrustning. Senare kom gruppen att delvis ifrågasätta sådant som de tidigare tagit för givet [297, 294]:

- Ska ett AI-system presentera en fullständig vårdplan eller vara den som kritiskt granskar en plan som en kirurg har föreslagit?
- Ska information presenteras textuellt, som talat språk eller grafiskt?

Synen på systemet utvecklades under det över tioåriga projektet från att ursprungligen ha utgått från att systemets roll skulle vara att instruera läkaren om vilka kliniska åtgärder som var nödvändiga till att i stället utvärdera läkarens order och att verifiera huruvida dessa var kompatibla med TraumAIDs förståelse av fallet. Om läkarens instruktioner avvek alltför mycket blev TraumAIDs roll att vid behov ifrågasätta läkarens order [297, 298]. I en senare artikel konstaterade teamet att eftersom kommunikationsstilen varierar så mycket mellan olika traumateam och att det då, 1998, inte fanns några traumacentra som använde elektroniska patientjournaler förblev TraumAID en prototyp som inte hade prövats i en äkta klinisk miljö [294].

Några år senare gjordes dock en validering vid ett nivå-1 traumacenter på ett universitetssjukhus i Pennsylvania [46]. Under en 15-månaders period fick kirurger under under sista året av sin specialistutbildning tillgång till systemet på en persondator och uppmuntrades till att använda det under eller omedelbart efter att de fastställt en behandlingsplan åt en patient med penetrerande trauma. I en blindad studie jämfördes sedan läkarnas och TraumAIDs (förslag på) behandlingsplaner av erfarna traumakirurger som var ovetande om vem som skapat planerna.

Resultatet visade att bedömarna föredrog TraumAIDs planer framför den faktiska vården i 64 av 97 fall (och tvärtom i 15 fall). Hanteringen av patienterna i två av de (verkliga) 97 fallen betraktades som oacceptabel och fick negativa följder. I bägge fallen skulle TraumAIDs rekommendationer överträffa den faktiska vården. De datorgenererade planerna lyckades alltså överträffa de

mänskliga kirurgernas planer redan i detta tidiga system även om tillämpbarheten i en faktisk klinisk miljö fortfarande var tveksam då läkarna var tvungna att flytta uppmärksamheten från patienterna till en dator och förlora värdefull tid medan de konsulterade systemet. TraumAID var också riktat särskilt till traumakirurger och inte avsett för användning utanför sjukhusmiljöerna.

3.2 Senare arbeten om AI och akutsjukvård

Flera studier har visat att datorstöd för beslutsfattande i en prehospita miljö, i akutrummet och intensivvårdsavdelningen kan förbättra patientutfallet inom traumavården [209].

Blödningschock är en vanlig dödsorsak i såväl civil som militär trauma. Maskininlärningsmodeller kan upptäcka en överhängande hypovolemisk chock⁴ med hjälp av icke-invasiv övervakning⁵ av vitalparametrar med en noggrannhet av 96,5% och kan bidra till att viktiga behandlingsinsatser sätts in tidigare än vad som annars hade skett [49]. En maskininlärningsalgoritm har också skapats för upptäckt av kraftig blödning hos traumapatienter vid helikoptertransporter där den utifrån basala vitalparametrar kan identifiera vilka skadade som blöder så kraftigt att de behöver blodtransfusion [39]. Vidare har kontinuerlig mätning och analys av syresättning med pulsoximetri⁶ och hjärtfrekvens visat sig vara bättre prediktorer för behovet av bukoperation än de skattningar som görs av prehospitala sjukvårdare [176].

Ett område inom akutsjukvården där AI framförallt har tillämpats är inom triagering⁷, dessutom AI har också visats kunna ha en viktig roll inom bild-diagnos, prediktion av patientutfall och övervakning av vitalparametrar [111]. Även språkteknologi (eng. *natural language processing*, NLP) har framgångsrikt kunnat användas till att tolka patientjournaler för att förutsäga blindtarmsinflammation och influensa.

Den initiala triageringen är avgörande för hur resurser utnyttjas och för hur patienten omhändertas. Denna triagering måste dock ofta göras snabbt och på bristfällig information [23]. För att prioritera bland patienterna används olika algoritmer såsom *Emergency Severity Index* (ESI) [66] men forskning har visat att en stor mängd patienter tenderar att triageras som en mittemellannivå (nivå 3 av 5) där det kan vara svårt att skilja på de högt och lågt prioriterade patienterna [23, 233]. Maskininlärningsmodeller har dock visats förbättra triageringsmetoderna [191] genom att bättre kunna förutsäga vilka patienter som kommer att behöva intensivvård eller akuta insatser [164]. Det står ett antal olika maskininlärningsmetoder till buds som kan effektivisera triagerandet och samtidigt minska antalet felbedömningar [258].

Skador som inte upptäcks vid initiala bedömningar har konstaterats vara en viktig faktor till mortaliteten inom området trauma. Den tredje traumaundersökningen (eng. *tertiary trauma survey*) av en traumapatient görs efter en första och en andra undersökning (eng. *primary survey* resp. *secondary survey*) och är avsedd att identifiera skador som kan ha missats vid den initiala återupplivningen och stabiliseringen. Mobilappen PATS (*Physician Assist Trauma Software*) har därför skapats för att standardisera bedömningen och dokumentationen vid den tredje undersökningen [190]. I en multicenterstudie kunde en signifikant minskning av missade skador efter att appen togs i bruk

⁴Hypovolemisk chock innebär att den cirkulerande blodvolymen är för låg

⁵Icke-invasiv övervakning görs genom att kroppen undersöks utifrån, utan att kroppen påverkas, genom till exempel EKG, EEG eller röntgenundersökning

⁶Vid pulsoximetri används ett mätinstrument för att genomlysna en kroppsdel för att därigenom räkna ut syremättnaden

⁷Triage är en process för att sortera och prioritera patienter med syftet att finna de mest allvarliga eller brådskande fallen som behöver behandlas först

påvisas. Även kraven på dokumentation efterlevdes högre. I en annan studie prövades om datorstött beslutsfattande under de första 30 minuterna av traumaåterupplivning minskar antalet fel vid hanteringen av traumapatienten [80]. Videogranskning av hur riktlinjer följs under insatser har visat att datorstöd i realtid bidrar till att protokoll följs i högre grad, minskat antal fel och lägre morbiditet.

Till skillnad från de regelbaserade system som nämnts tidigare [46, 80] utvecklade Yang et al. ett beslutsstödsystem med hjälp av maskininlärning [310]. Med hjälp av video samlades data om processer och arbetsflöden i verkliga traumafall i stället för att basera systemet på regler som manuellt formuleras av medicinska experter. Maskininlärningstekniker har sedan utnyttjats för att analysera dessa processdata och utveckla ett rekommendationssystem som kan upptäcka avvikelser från acceptabla arbetsprocesser under återupplivning vid traumafall och varna traumateamet för risker i realtid [310]. Det är dock oklart om detta system ännu har provats.

Raj och kollegor har i ett finskt forskningsprojekt skapat en maskininlärningsalgoritm som skulle prediktera mortalitet i realtid under intensivvård efter traumatiska hjärnskador [222]. Algoritmen som syftar till att förutsäga 30-dagars mortalitet baserades på intrakraniellt tryck, arteriellt blodtryck, blodcirkulationen i hjärnans kärl och Glasgow-coma-skalan [271]. Deras ganska enkla algoritmer med få variabler lyckades diskriminera mellan överlevare och icke-överlevare med en säkerhet på 81-84%.

3.3 AI-stöd för radiologiska bildanalyser

Ett medicinskt tillämpningsområde för AI som är relativt välstuderat är akut radiologi [23]. Flera algoritmer har utvecklats för avbildning av skallen och hjärnan med datortomografi (CT) för att upptäcka blödningar och traumatiska hjärnskador [23, 218]. Algoritmerna har en hög träffsäkerhet; sensitiviteten ligger på 94-100% (förmågan att upptäcka sant positiva resultat med låg andel falskt negativa svar) och specificiteten på 99% (förmågan att upptäcka sant negativa resultat med låg andel falskt positiva svar). Algoritmerna ger därmed en bra grund för att tillförlitligt kunna exkludera livshotande tillstånd som kräver akuta insatser.

Teknik från israeliska MedyMatch Technology och Samsung NeuroLogica möjliggör stöd för sjukvårdare i att snabbare och säkrare bedöma strokepatienter i prehospitala miljöer [187]. Genom att använda AI-tekniken från MedyMatch kan sjukvårdarna lättare använda CT-skannern för att bedöma blodkoagulering och blödningar. En tidig bedömning av patienten, helst redan under transporten till sjukhus, möjliggör bättre vård. Snabb bedömning och behandling är avgörande för framgångsrik strokevård och tidig analys av blödningar kan därför spara värdefull tid. Inom amerikansk försvarsmedicin har stroke uppmärksamats efter att en rad soldater drabbats av stroke pga överhettning [118]. Under de två senaste decennierna har soldater drabbats allt oftare och det har argumenterats för behovet av ett utbyggt nätverk av telestroke-system för att stödja strokebehandling i områden där strokevård annars saknas [54].

AI-stödd skanning och analys av bilder som tidigare endast kunnat genomföras på sjukhus kan vara ett intressant område för svensk försvarsmedicin. Lösningen som MedyMatch och Samsung utvecklat är dock molnbaserad och kräver att bilderna laddas upp till en molnbaserad server för analys. Idag pågår ett samarbete mellan IBM Watson Health och MedyMatch Technology i syfte att stödja analys av intrakraniella blödningar orsakade av trauma eller stroke [192].

AI-stödd bildanalys är ett område som är väl beforskat. Användningen av datortomografibilder har ökat på akutmottagningar [195, 155] men det är en utmaning att särskilja allvarliga huvudskador från mindre allvarliga sådana. En aktuell studie [42, 195] visar att djuplärande algoritmer skulle kunna automatisera triageringen av sådana traumafall där patienter kräver omedelbar tillsyn. De flesta studier som gjorts tidigare av AI-stödd bildanalys rapporterar om hur tekniken identifierar en viss typ av avvikelse medan Chilamkurthy och kollegors algoritmer tränats på att identifiera flera olika typer av trauman på hjärnan. I den aktuella studien kunde algoritmerna identifiera nio olika kritiska abnormiteter vid analys av datortomografibilder [42]. Författarna tänker sig att deras automatiserade system också skulle kunna användas på avlägsna platser där det inte finns tillgång på radiologer och kanske skulle tekniken därför kunde vara intressant i vissa militära sammanhang även om den kräver utrustning för att kunna ta bilderna till att börja med.

3.4 AI-teknik för prehospital akutsjukvård

AI-tillämpningar har till lägre grad slagit igenom och validerats inom akutsjukvården utanför sjukhusens akutmottagningar [111]. I den civila sjukvården är det intressant att undersöka hur alltför patienter själva samlar och övervakar data med hjälp av sina smarta telefoner och armband [185]. Ett annat trendande område i den civila sjukvården är att göra textanalyser av det som skrivs i sociala medier för att förutsäga utbrott av smittsamma sjukdomar. Ytterligare en AI-tillämpning i den civila prehospitala sjukvården är Corti-systemet som används för röstanalys på larmcentraler, se avsnitt 3.5.

Att omhänderta en svårt skadad person är en krävande uppgift som kan fordra snabba beslut i en stressig miljö. Om personen som först är på plats saknar sjukvårdsutbildning och behöver agera i väntan på mer kvalificerad personal ökar naturligtvis stressen. Ett exempel är medicinska akutfall inom flyget där kabinpersonal med liten eller ingen vårdutbildning måste göra insatser. Olika sätt som AI-teknik kan stödja kabinpersonalen att ge första hjälpen (eng. *first responders*) har diskuterats [227] och resonemangen torde i många fall vara direkt överförbara till en militär kontext. AI-tekniker skulle kunna användas för att stödja hur skadade kan tas omhand och i synnerhet ge stöd i beslutsfattande, stödja informationsöverföring till mer kvalificerad vårdpersonal och även skapa en mindre stressande situation för den som ska ge första hjälpen. Tre områden har identifierats som lämpliga för att assisteras av artificiell intelligens [227]:

1. *Reducera risker genom övervakning och påminnelser*: En stor risk för den som ska ta hand om en skadad eller sjuk är att denne glömmer att göra viktiga insatser eller att denne är osäker på vad som ska göras och därför förlorar värdefull tid i hanteringen av patienten. Detta gäller förstås särskilt om personen saknar medicinsk utbildning. Ett AI-system kan övervaka vad som görs, påminna, varna och även ge ledtrådar om lämpliga insatser. Övervakningen kan baseras på sensordata eller genom information som de inblandade själva matar in. På längre sikt skulle datorseende kunna tillämpas för att övervaka den som hjälper patienten (ett sådant exempel är systemet AUDREY som beskrivs i avsnitt 3.7.2).
2. *Ge logistisk rådgivning utöver den medicinska*: Den som först ska ta hand om sårade i en militär kontext kan behöva fatta potentiellt livsavgörande beslut. Dessa kan vara medicinska, som att ge patienter syrgas. De kan också vara logistiska, som att besluta om det krävs att ett fartyg, flygplan eller annat fordon måste dirigeras om för att rädda patienten. Ett

AI-system kan bidra i sådana fall genom att ge rekommendationer baserade på realtidsdata som omfattar kontextuella data (t.ex. om hur långt farkosten är från sin destination) såväl som medicinska data. Sådana rekommendationer skulle kunna baseras på uttalade regler för *best-practice* men även på analyser av tidigare incidenter med hjälp av maskininlärning. Denna typ av stöd som kombinerar medicinsk med logistisk rådgivning torde vara av särskilt intresse i en militär kontext där alternativet att omedelbart lägga om rutten mot närmaste sjukhus kan vara förknippad med stora risker och kostnader.

3. *Överlämning*: När skadade väl ska överlämnas till kvalificerad vårdpersonal behöver dessa få en rapport om patientens status, vad som hänt före olyckan (t.ex. observationer från andra) och vad som skett under omhändertagandet av den skadade (såväl medicinska problem som insatser som genomförts). Detta kan låta trivialt men människor glömmar ofta att nämna viktig information vid överlämningar och särskilt i stressiga situationer. Detta problem torde därför kunna vara typiskt i militär miljö när det handlar om icke vårdutbildad personal i en kritisk situation. Även i sådana situationer skulle AI-system kunna hjälpa till vid en överlämning genom att samla relevanta data och dra nytta av språkteknologi såsom *Natural Language Generation* (NLG) för att skapa en precis sammanfattning av alla data för vårdpersonalen som tar emot patienterna.

En form av stöd (närmast det första området, *reducera risker genom övervakning och påminnelser*) är de modernare, mer avancerade första hjälpen-lådorna. En mycket vanligt förekommande anordning är hjärtstartaren, eller defibrillatorn, se figur 3.1. De halvautomatiska hjärtstartarna ger talade instruktioner och kan användas av de flesta oavsett tidigare kunskap. Oftast finns det piktogram (ikoner) på hjärtstartarens hölje som vägleder och hjälper till så att vem som helst kan använda den. När hjärtstartaren startats ger den talade instruktioner och uppmaningar som hjälper till att utföra defibrilleringen på rätt sätt. Apparaten anpassar sina instruktioner och sin funktion till hur användaren agerar och data om patienten. Användaren måste först fästa elektroder på den drabbades bröst och apparaten använder indata från elektroderna och kontrollerar medvetlöshet. Endast om hjärtstartaren känner av att ett ventrikelflimmer eller en ventrikeltakykardi (två sorters hjärtrytmrubbningar) föreligger levererar den en elchock. Anordningen är mycket specialiserad på en uppgift och därför tillförlitlig och enkel att använda. Trots det används den inte så mycket som är önskvärt även om den ofta har gjort nytta i de fall lekmän helt utan utbildning har använt den.

Silicon Valley-företaget 19Labs har tagit fram Gale (som i Nightingale), en avancerad förstaförbandslåda som snarare har beskrivits som en digital miniklinik [228]. En låda innehåller sensorbaserade diagnostiska verktyg inklusive registreringselektroder för EKG och strokedetektering, pulsoximeter för mätning av puls och syremättnad, verktyg för undersökning av innerörat och digital termometer. Det finns planer att lägga till möjligheter till ultraljud och analys av blodfetter. Data från verktygen kan överföras till vårdpersonal. En annan låda innehåller läkemedel och diverse material. Överst finns en tryckkänslig skärm som på ett interaktivt sätt kan visa riktlinjer för att stödja behandlingar av allt från bett till hjärtproblem och hjärnskakningar. Skärmen kan också användas för videobaserad kommunikation med läkare. Målgruppen är civil, såsom skolor, arbetsplatser och affärer. Ett tillägg som planeras är röstanalys för att analysera eventuella hjärtproblem (jfr Corti i avsnittet AI för ljud- och språkanalys). Vidare planeras analys av hjärt- och lungljud som fångas av stetoskopet för att fånga upp t.ex. problem med hjärtarytmier. Enligt företaget



Figur 3.1 – En vanligt förekommande hjärtstartare som kan assistera genom att inhämta data om patienten och anpassa sig till vad en användare gör vid lösning av en välavgränsad uppgift (Foto: Klas Karlgren/KI).

är sådana analyser mer träffsäkra än de som sjuksköterskor och läkare kan ta fram med konventionella stetoskop.

Ytterligare en låda är *Comprehensive Rescue System* som lanserades i december 2016 av *Mobilize Rescue Systems* och som har kallats “The Cadillac of First Aid Kits” [107]. Med utgångspunkten att automatiserade hjärtstartare blivit så enkla att vem som helst kan använda dem ville tillverkarna skapa något motsvarande för blödningar. I likhet med vanliga förstaförbandslådor innehåller den gasbindor, bandage och salvor men den innehåller också avsnörande tryckförband (tourniquet), lufttäta förband för patienter med penetrerande thoraxtrauma (chest seal) och hemostasbefrämjande⁸ förband (QuikClot gauze).

Eftersom det krävs viss kompetens för att dra nytta av innehållet har lådan kompletterats med en iPad i locket med en interaktiv app som ska stödja triagering och som utvecklats i samarbete med akutläkare, militär sjukvårdspersonal och ambulanspersonal. Målet är att det ska vara enkelt för lekmän att tillhandahålla livsuppehållande vård till de som drabbats av traumatiska skador. Den interaktiva appen använder färgkodade bilder, animeringar och planogram (ett schema över produkternas placering) för att hjälpa användare att hitta utrustning och ger sedan steg-för-steg instruktioner om hur dessa ska användas. Utrustningen är sorterad utifrån vad som är mest livshotande och färgkodad för att saker enkelt ska hittas. Styrkan ligger i appens enkelhet och att den ger stöd för svårare skador, dock har den inte sensorer för att automatiskt anpassa sig till individuella patienter utan de råd appen tillhandahåller baseras på den information som användaren matar in till systemet.

⁸Hemostas eller blodstillning är cirkulationssystemets förmåga att med hjälp av kroppens egna eller främmande medel kunna stoppa blödningar

3.5 AI för ljud- och språkanalys

Det danska företaget Corti har utvecklat en AI-applikation som kan användas av larmcentraler för att identifiera hjärtstopp och hjärtinfarkt [230]. Verktöget ska stödja larmoperatörer genom att tolka inringarens språk och andning (t.ex. andningsljud och andningsmönster) för att med hjälp av maskininlärningsteknik diagnostisera hjärtstopp och hjärtinfarkt snabbare än tidigare (artiklarna skriver omväxlande om båda tillstånden). Applikationen provades 2016 på 161.000 samtal till danska larmcentralen och uppnådde då 93% precision i att identifiera hjärtstopp medan mänskliga operatörer endast uppnådde 73% [152]. Programmet ger ledtrådar om vilka frågor larmoperatören bör ställa för att snabbt diagnostisera patientens tillstånd.

Konversationer kan vara röriga och innehålla outtalad information. Corti-applikationen analyserar sådan information i realtid och försöker hjälpa operatörer att upptäcka viktiga ledtrådar som de annars riskerar att missa. Programmet lär sig också och blir bättre för varje nytt samtal. I ett fall⁹ ringde en kvinna in till larmcentralen när hennes man hade fallit från ett tak. Larmoperatören uppfattade det som att mannen brutit ryggen. Corti upptäckte dock att mannen drabbats av hjärtstopp vilket visade sig vara den bakomliggande anledningen till att han fallit. När detta skedde var Corti dock i sin träningsfas och kunde därför ännu inte hjälpa larmoperatören och mannen rapporteras senare ha avlidit.

Det skotska MIME-projektet (*Managing Information in Medical Emergencies project*) drar nytta av språkteknologiska lösningar för att stödja frivilliga sjukvårdare som är först på plats vid en olycka [238]. I Skottland finns 1200 personer som frivilligt utbildats till att bli "community first responders" som ska hjälpa till med första hjälpen vid olyckor och sjukdom. Eftersom avstånden är långa ökar hjälpen från frivilliga på plats sannolikheten för överlevnad. Dessa frivilliga är dock ofta oerfarna och i MIME-projektet har det utvecklats stöd för att hjälpa dem att samla fysiologiska data, bättre förstå patienternas medicinska tillstånd och förbättra överlämnandet av patienten till ambulanspersonalen. Ur ett AI-perspektiv är det intressant att notera hur språkgenerering utnyttjas. Tekniken används för att omvandla de data som sensorerna samlar in om patienterna till en textuell rapport vilket ger ambulanspersonalen en möjlighet att snabbt få en överblick över patienternas tillstånd och de frivilliga sjukvårdarnas insatser. Eftersom irrelevant information kan distrahera, används tekniken för att summera och endast inkludera relevant information i rapporterna. Om t.ex. hjärtfrekvensen genomgående varit normal räcker det att nämna det en gång i rapporten i stället för att upprepa mätvärdet flera gånger.

3.6 Virtuella assistenter och chatbots

Ordet chatbot är en sammandragning av chat och robot och syftar på virtuella assistenter som använder AI för att konversera med människor. Ofta är de textbaserade men de kan också använda talat språk, eller en kombination av både tal och text. De har funnits sedan mitten på 1960-talet [300] men har på senare tid slagit igenom kommersiellt som kundtjänstassistenter, it-support och vid andra former av företagskontakter på många håll. Eliza var en av de första och utvecklades vid MIT för att efterlikna "mänsklig" konversation mellan användaren och systemet. Idag finns flera kommersiella exempel såsom IBMs Watson [134], Apples Siri [10], Googles "Google Now" [219] och Microsofts Cortana [186]. Idag pågår också forskning på utveckling av virtuella assistenter baserat på maskininlärningstekniker inom akutmedicin [221]. Det har funnits

⁹Spelas upp av skådespelare här: <https://youtu.be/DfeDjtAQKRc>

en skepsis mot användande av chatbots, men tekniken har förbättrats avsevärt under senare år och de har goda chanser att fungera i väldefinierade sammanhang. En del bedömare tror att tiden är inne för chatbots och att de kommer att slå ut andra former av interaktion [51]. De är bra på att hantera ofta återkommande frågor och kan svara snabbare än vad en människa skulle göra. Den tekniska komplexiteten hos en chatbot styrs av två faktorer: dels chatbotens förmåga att generera nya svar baserat på en fråga istället för att bara hämta förprogrammerade svar och dels vilken bredd av samtalsämnen den förmår hantera [314]. För att kunna hantera ett fåtal samtalsämnen krävs således en mindre komplex lösning än vad som krävs av en chatbot som ska behärska flera ämnen.

Den österrikiska röststyrda första-hjälpenassistenten AMI (*Artificial Medical Intelligence Erste Hilfe Sprachassistent*) är baserad på chatbotteknik och är tillgänglig från tyskspråkiga Appstore [32]. Assistenten hjälper användaren i olika typer av nödsituationer såsom t.ex. allergisk chock, värmeslag eller druckning. Användaren kan ställa fritextfrågor till assistenten och får då svar i fritext och videoklipp som visar hur användaren ska göra. Assistenten kan också ställa frågor om det inträffade och föreslå åtgärder. Om användaren t.ex. beskriver att någon har fått svårt att andas kan chatbotten fråga om personen kan ha svält ett föremål eller satt matrester i halsen.

Ett annat exempel på en chatbot-baserad app är SPeCECA för hjälp vid olyckor [210]. Appen som är molnbaserad riktar sig till lekmän och använder sig av fritextkonversation och visar också med bilder hur användaren ska gå till väga. Röda Korset har också skapat en app (First Aid) med en virtuell assistent som kan hantera olika medicinska akutfall [229, 183]. Appen använder Amazons röststyrningssystem Alexa som Amazon ursprungligen utvecklade till sina "smarta" högtalare Amazon Echo. Röda Korset vill att assistenten ska upplevas som att "man har någon i rummet" som på ett lugnt och sansat sätt förklarar vad som ska göras när någon drabbats av t.ex. ett krampanfall. Röda Korsets studier har visat att endast hälften av alla påbörjar någon form av första-hjälpeninsats medan de väntar på en ambulans och att 59% av alla prehospitalla dödsfall från olyckor skulle kunna undvikas om första-hjälpenfärdigheterna skulle varit bättre. Appen täcker 18 olika typer av olyckor såsom brännskador, benbrott och kraftiga blödningar. Talade instruktioner används då utvecklarna anser att sådana gör det enklare för människor att lära sig färdigheterna. Det är tänkbart att chatbotlösningar skulle kunna vara till nytta även i försvarsmedicinska miljöer. Flera utvecklingsplattformar finns idag tillgängliga och det är en förhållandesvis billig teknik att utveckla som inte heller kräver att användaren har mer avancerad utrustning än en vanlig dator, läsplatta eller telefon. Exempelen handlar om vanliga civila skador och sjukdomar men chatbottekniken skulle naturligtvis enkelt kunna skräddarsys för att assistera vid skador som är mer typiska eller särskilt krävande i ett försvarsmedicinskt sammanhang. En utmaning vid eventuell utveckling av chatbotteknik vore att identifiera vilka områden som är viktigast att täcka och vilka frågor och svar chatboten skulle behöva bemästra. Interaktionsformen kan i sig också vara begränsande - en textbaserad eller talad dialog med en virtuell assistent kan vara naturlig i en situation men inte alls passa i andra, mer kritiska lägen.

3.7 Beslutsstöd

Beslutsstöd är ett samlingsbegrepp för olika metoder att stödja effektivt beslutsfattande. På 1960-talet dominerade visioner om att skapa autonoma datorsystem för beslutsfattande men dessa ersattes efterhand med visioner om att istället använda datorer till stödja mänskligt beslutsfattande. Dessa besluts-

stöd har utvecklats till att bli alltmer avancerade system i sig och kan baseras på olika AI-tekniker.

3.7.1 Övervaka och varna

Ett potentiellt sätt som AI kan stödja sjukvården är genom att medverka till att vården blir mindre reaktiv: AI-tekniker kan användas till att förutsäga problem och därigenom stödja sjukvården genom rådgivning i god tid och kanske före vårdpersonalen ens kommit till insikt om att någon handling krävs. Ett AI-baserat system skulle kunna varna för tillstånd såsom sepsis¹⁰ och krampanfall. Att visuellt tolka EEG-data är tidskrävande och starkt beroende av individuella färdigheter. Maskininlärning skulle kunna vara ett stöd i beslut om huruvida vård ska ges eller avbrytas för kritiskt sjuka patienter såsom patienter som hamnat i koma efter hjärtstopp [29].

Maskininlärning passar väl för att tolka trender och förändringar över tid. Att manuellt avgöra om det skett förändringar utifrån korta mätningar vid olika tillfällen är svårt för en människa. En AI-algoritm är däremot bra på att analysera mönster över tid och har möjligheten att upptäcka subtila förbättringar som kan påverka beslut om vård.

3.7.2 Distribuerad datainsamling och skräddarsydd rådgivning

Ett AI-projekt som fått mycket uppmärksamhet på senare tid och som inriktar sig på beslutsstöd i samband med olyckor är AUDREY [22, 84, 124, 125, 132, 136, 146, 280]. Namnet är en akronym för det besvärliga och längre namnet på projektet, nämligen Assistant for Understanding Data through Reasoning, Extraction and sYnthesis. Projektet riktar sig till brandmän, ambulanspersonal, sjukvårdspersonal, poliser och andra "first responders" som är först på plats och tillhandahåller hjälp vid olyckor och delar av idéerna bakom projektet kan ha försvarsmedicinskt intresse. Projektet bygger på antagandet att ju mer information som är tillgänglig desto bättre kan folk agera i den akuta situationen. Att hantera en stor mängd information, särskilt i en pressad situation, är dock krävande och i USA¹¹ har därför ett maskininlärningssystem som avlastar de inblandade genom att samla in data om olycksplatsen och fördela viktig information och relevanta rekommendationer till teamet utvecklats.

AI-systemet använder data från bärbara sensorer och analyserar dessa data och skickar ut relevant information till individuella teammedlemmar för att öka deras situationsmedvetenhet och stödja kommunikationen inom teamet (för brandmän främst). Medlemmarna spåras med GPS och sensorer i uniformerna spårar koncentrationen av farliga kemikalier och gaser i luften liksom temperaturer i olika delar av en byggnad. Informationen delges teammedlemmarna genom mobila enheter eller genom att den visas framför en genomskinlig skärm utan att blicken behöver flyttas till en separat enhet (i en s.k. Head-up-display, HUD). Genom informationen som samlas in kan AUDREY-agenten bli som en "skyddsängel" som varnar medlemmarna om t.ex. att inte gå in rum där golvet riskerar att kollapsa, oförutsedda bränder eller giftiga gasläckor. För att detta ska fungera måste massiva datamängder behandlas i realtid vilket inte är görbart för en människa. AUDREY kan utgöra ett stöd, extra ögon, och göra vissa saker bättre än människor såsom att mäta temperaturer och se genom rök och ge ögonblickliga rekommendationer baserat på riskanalyser i kritiska situationer. Systemet lär sig också över tid så att prediktioner och förslag blir

¹⁰Blodförgiftning

¹¹Ett samarbete mellan NASA:s Jet Propulsion Laboratory, USA:s försvarsdepartement och departementet för inrikes säkerhet (Department of Homeland Security)

alltmer precisa.

Systemet kan vid behov också svara på direkta frågor. Det tillåter talad indata och tränas i förväg för att anpassas till olika yrkeskategorier, roller och användning av olika typer av utrustning samt medlemmarnas preferenser. Efter varje insats går AUDREY in i "drömläge" för att analysera och lära sig inför nästa uppdrag.

Ur ett sjukvårdsperspektiv är det intressant att notera att systemet också kan samla data, t.ex. puls, från sina användare för att övervaka eventuella tecken på överansträngning. Om en brandman riskerar att tappa medvetandet eller att få en hjärtattack varnas sjukvårdare. Motsvarande övervakning av soldaters hälsotillstånd skulle kunna vara tänkbart.

Sjukvårdare fattar hundratals kritiska beslut om bedömning, behandling och transport av patienter. De kan behöva fatta snabba beslut under besvärliga förhållanden och under tidspress och också ofta utan närvaro av kollegor att rådgöra med vilket ofta är fallet på t.ex. en akutmottagning. Även om möjligheten att ringa en läkare för rådgivning finns innebär detta att värdefulla sekunder tickar iväg vilket kan vara livsavgörande för patienten [132].

Samarbetet i AUDREY-projektet har också uppmärksammat de utmaningar som är specifika för sjukvårdare (paramedics) som rör bedömning och transport av patienter liksom överföring till sjukhus. Projektet har försökt beakta risken att sjukvårdare som konsulterar läkare på distans om behandlingsplaner riskerar att tappa fokus på patienten. Visionen har därför varit att systemet ska tjänstgöra som en expert i realtid ger råd till sjukvårdaren vid akuta situationer. Sjukvårdarna ska kunna tala till systemet över radio eller annan enhet såsom att det vore en teammedlem eller larmcentralen och ställa frågor, ge röstkommandon och lämna statusrapporter (jfr Apples Siri och Amazons Alexa). Systemet ska också kunna säkerställa rätt medicinering genom att analysera bilder: genom att fotografera ett läkemedel som användaren planerar att ge patienten kan användaren få en bekräftelse på att denne valt rätt medicin och dos. Bilden blir också till en del av dokumentationen av vårdinsatserna [132].

Delar av AUDREY-systemet ska ha pilottestats med positiva resultat men systemet i sin helhet förefaller vara i ett tidigt utvecklingsskede. Användning av AI uppfattades som värdefullt i pilottestet och särskilt möjligheten att validera medicinering samt att AUDREY kan dokumentera i realtid. Utformningen uppfattades dock som negativ och störande; deltagarna behövde hålla en enhet i handen vilket hindrade dem i arbetet varför andra interaktionsformer kan krävas för att en AUDREY-liknande lösning ska kunna bli framgångsrik.

3.7.3 Beslutsstöd för kirurgisk hjälp till skadade soldater

Amerikanska försvarsdepartementet har nyligen (december 2019) finansierat ett projekt hos *Centre for Trauma Sciences* (C4TS) vid Queen Mary-universitetet i London med syftet att utveckla AI-verktyg som ska hjälpa till med att rädda liv bland allvarligt skadade soldater [206]. Projektet heter *Computer Battlefield Assistance in Trauma care and injury Decision-support* (COMBAT-AID) och syftar till att utveckla och validera en rad prediktionsmodeller och kliniska beslutsstödsverktyg för sjukvårdspersonal. Dessa modeller och verktyg ska kunna användas vid behandling av skadade soldater på slagfältet, under transport till sjukhus samt på sjukhuset. AI-verktyget ska kunna ge stöd i svåra frågor såsom: Ska en viss kirurgisk teknik användas eller inte? Ska försök göras för att rädda en sargad lem? Ska värdefulla blodlager förbrukas nu? Projektet samlar kirurgisk, militär och datavetenskaplig kompetens och har uppmärksammat de lägen då militär sjukvårdspersonal måste fatta svåra beslut under tidspress i

en miljö långt ifrån sofistikerad diagnostisk utrustning och utan stöd av seniora, erfarna kollegor. De brittiska deltagarna har tidigare utvecklat kliniska beslutsstöd baserade på bayesianska nätverk (en sorts modeller för sannolikhetsberäkning) åt Royal London Hospital Major Trauma Centre. Beslutsstöden genererar bedömningar av risken för traumainducerad koagulopati (dvs. att förmågan att koagulera är nedsatt vilket kan leda till långvarig eller kraftig blödning) hos patienter och huruvida amputering är nödvändigt vid en allvarlig skada. Bedömningarna används för att bättre anpassa valet av behandling till en individuell patient och beslutsstöden har också visats kunna överträffa andra befintliga stöd [216]. Projektet ska nu inriktas på beslutsstödsmodeller för kritiska medicinska insatser i konfliktzoner såsom återupplivning, extremitetsbevarande och primär kirurgi begränsad till enkla och snabba åtgärder i syfte att rädda liv (eng. *damage control surgery*). Denna forskning har sitt fokus på att utveckla sofistikerade beslutsstöd till framförallt kirurger snarare än lekmän eller sjukvårdare.

3.7.4 Realtidsstöd under de första 24 timmarna av traumavård

I november 2019 tillkännagavs att ett nytt franskt partnerskap skulle inledas kring projektet¹² TrauMatrix [135]. Partnerskapet syftar till att utveckla "de första beslutsstödsverktygen för omhändertagandet av patienter med större trauma". TrauMatrix har som mål att stödja omhändertagandet av allvarligt skadade patienter under de första, kritiska 24 timmarna. Artificiell intelligens ska utnyttjas för att stödja beslutsfattande i realtid. Tanken är att TrauMatrix ska utveckla beslutsstödsverktyg för yrkesverksamma inom anestesiology¹³ och intensivvård och verktygen ska hjälpa dem fatta beslut i realtid så att patienter kan dirigeras till rätt avdelning. TrauMatrix ska också förutsäga sannolikheter för blödningschock och traumatiska hjärnskador så att behandlingsstrategier kan anpassas utifrån sannolikheterna. Det ska även användas till stöd för hur material och personal placeras ut på sjukhusen så detta görs utifrån patienters behov och möjligheter till överlevnad.

Projektet kommer baseras på 'Traumabase' som är ett franskt trauma-register etablerat 2011 och som idag innefattar 14000 traumafall. Idag har analyser påbörjats med ett fokus på blödningschock och målet tycks vara att utveckla prediktionsmodeller med AI-kompetensen från CapGemini. Även i det projektet är fokus på specialister, inom anestesiology och intensivvård, snarare än lekmän eller sjukvårdare i allmänhet. De har etablerat ett stort nätverk men det är värt att notera att det svenska traumaregistret har en större datamängd att utnyttja.

3.8 Utmaningar

Sammanfattningsvis har artificiell intelligens under många år tillämpats inom medicin även om AI inte slagit igenom i lika hög grad inom akutsjukvård. Ännu mindre forskning och utveckling har skett inom prehospitalet akutsjukvård och i synnerhet för att betjäna en icke-sjukvårdsutbildad målgrupp. En rad existerande AI-tillämpningar inom civil sjukvård skulle dock kunna ha försvarsmedicinsk relevans: områden som utmärker sig är övervakning och prediktion av patientutfall, rådgivning/beslutsstöd, bilddiagnos samt resurshantering/logistik. Till exempel kan risken för blödningschock upptäckas med relativt enkel

¹²Ett vetenskapligt samarbete mellan den tekniska högskolan École polytechnique i Paris, det stora parisiska sjukhusystemet AP-HP, forskningsorganisationen CNRS, fackhögskolan École des hautes études en sciences sociales samt management- och IT-konsultbolaget Capgemini

¹³Anestesiology avser läran om sövning/narkos och olika bedövningsmetoder

övervakning, datorstöd kan bidra till att triagering blir mer effektiv och träffsäker liksom att traumaalgoritmer efterlevs bättre. Halvautomatiska hjärtstartare är en standardprodukt som nästan vem som helst kan använda och idag finns också produkter som är något mer avancerade och inriktade på trauma och blödningar. Vidareutveckling av sådana produkter för försvarsmedicinska behov bör kunna ligga nära i tiden. I de fall ett medicinskt område kan avgränsas ökar möjligheterna till utveckla AI-lösningar som kan tillhandahålla relevant rådgivning, påminnelser, varningar och även logistisk hjälp. Relativt enkelt är att också stödja dokumentation och överlämning av patienter till kvalificerad personal. Existerande teknik såsom virtuella assistenter (chatbots) och sensorer för att inhämta patientdata är inte speciell kostsam och kan tänkas finna värdefulla användningsområden inom försvarsmedicin. Fungerande tillämpningar för textanalys och i viss mån tal finns idag men överföringen till de försvarsmedicinska problem som är i fokus i denna studie är kanske inte lika självklar. Tillämpningar baserade på bildanalys för att t.ex. verifiera läkemedel och dosering är sannolikt visioner som ligger betydligt längre fram i tiden. Kanske mest spännande är de projekt som undersöker realtidsstöd till den eller de som måste fatta svåra kirurgiska beslut på fältet för att rädda liv. Forskning har visat att det kan vara en stor utmaning även för erfarna kirurger och narkosläkare att fatta lämpliga beslut om behandling av traumapatienter och särskilt när ordinarie resurser inte är tillgängliga [262]. Dessa projekt tycks dock ligga i startgroparna och snarast rikta in sig mot specialister snarare än lekmän eller soldater med en kortare sjukvårdsutbildning. Överlag behöver inte införande av ny teknik vara speciellt kostsam - särskilt om liknande teknik redan utvecklats i andra områden eller till och med kommersialiserats. Införandet väcker dock frågor om acceptans och användbarhet. När är det lämpligt att införa en ny interaktionsform (t.ex. tal, text) som kan stjäla uppmärksamhet, störa, vara tidskrävande eller förutsätta en lugn miljö? Och när är det acceptabelt att lägga till ny teknisk utrustning som adderar vikt, måste manövreras med ena eller t.o.m. båda händerna eller som riskerar att störa seendet eller hindra rörelse (visir, sensorer med flera)?

4 Autonom sjukvårdslogistik

I detta kapitel beskrivs transporter av medicinska förnödenheter och blodprodukter samt evakuering av skadade med obemannade farkoster. RASEVAC (*Robotic and Autonomous Systems Evacuation*) har nyligen föreslagits som ett samlingsbegrepp för att beskriva evakueringen av skadade med obemannade farkoster, med eller utan robotassisterad vård, se appendix C. En tekniköversikt av obemannade farkoster, både operativa plattformar och plattformar som är under utveckling, ges även. Ett mer futuristiskt koncept för dold evakuering i skärgårdsmiljö beskrivs även i avsnitt 4.5.5. Slutligen beskrivs kvarvarande utmaningar som återstår att lösa i utvecklingen av autonoma farkoster.

De nationella regelverken utgör dock idag ett hinder för införandet av, men även försöksverksamhet med, obemannade farkoster. Svårigheterna utgörs exempelvis av behovet av att flyga bortom visuell siktlinje med autonoma logistikfarkoster, och generell användning av autonoma mark- och ytgående farkoster, vilket ännu inte stöds med befintliga regelverk.

4.1 Definitioner av fjärrstyrda respektive autonoma farkoster

Obemannade farkoster används operativt av ett stort antal nationer [225]. Obemannade flygande farkoster (*Unmanned Aerial Vehicle, UAV*) delas in i fjärrstyrda och autonoma farkoster. Försvarsmakten använder den internationella benämningen RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) som beskrivning av ett komplett system bestående av en (helt eller delvis) fjärrstyrd flygande farkost, markstation och kommunikationssystem. Själva UAV:n benämns då för RPA.

Det finns ingen allmänt vedertagen definition av hur en farkost ska vara för att den ska kunna betecknas som autonom. En obemannad farkost sägs ofta vara autonom då den har flera automatiserade funktioner implementerade, däribland en självkörande förmåga och intelligens som möjliggör att den utan direkt styrning av en människa kan utföra sitt tilldelade uppdrag (uppdragsautonomi) [225]. Graden av autonomi hos en obemannad farkost kan därför istället bedömas utifrån hur många funktioner som är autonoma (eller automatiserade) och hur avancerade dessa autonoma funktioner är. Försvarsmakten beskriver dock autonoma farkoster enligt följande: *En autonom farkost förs fram utan förare och kan på egen hand manövrera på marken, i luften eller i vattnet. Farkosten kan föras med kameror, sensorer eller annan utrustning som gör att den kan samla data till en markkontroll där bilder eller annan information kan tolkas* [90]. Försvarsmaktens beskrivning skiljer sig delvis från ovanstående resonemang då autonoma spaningsfunktioner (där plattformen utför analys och tolkning av sensordata) inte inkluderas, samtidigt som uppdragsautonomi inte specifikt nämns.

Maskininlärning utgör ett kritiskt område för autonoma plattformar där maskininlärningsalgoritmer förväntas komma att användas i flertalet automatiserade funktioner, exempelvis:

- Automatiserad analys av sensordata (såsom navigering och detektion, identifiering, klassificering och följning av mål samt triagering).
- Automatiserad styrning och ruttval.
- Uppdragsstyrning.
- Status- och hälsomonitorering (av själva plattformen), feldetektion och automatisk hantering av fel.

Obemannade flygande plattformar används härnäst för att exemplifiera skillnaderna mellan fjärrstyrda och autonoma farkoster, men liknande resonemang kan föras för mark- och ytgående farkoster. Gränsen för vad som är en RPAS (dvs fjärrstyrd UAV) respektive en autonom UAV är dock inte fullt ut definierad. En RPAS kan styras direkt av en operatör, utifrån videoströmmen som skickas från UAV:ns elektrooptiska sensorer till operatören, eller indirekt genom att operatören anger brytpunkter för UAV:ns förflyttning. Om även förmågan att upptäcka och väja för hinder och andra farkoster implementeras så kan dess navigeringsfunktion beskrivas vara autonom. En autonom UAV förväntas dock även ha åtminstone en grundläggande nivå av uppdragsautonomi implementerad.

RPAS används operativt i stor, och kraftigt ökande, omfattning internationellt och de har väsentligt påverkat hur striden genomförs. De vanligaste användningsområdena är spaning, övervakning och målinmätning (*eng. Reconnaissance, Surveillance, Target Acquisition, (RSTA)*) på ledningsnivåer som sträcker sig ända från låg taktiskt nivå till operativ och strategisk nivå. De används även exempelvis för informationsinhämtning (visuellt eller via signalspaning), som kommunikationsrelä, för logistik samt för direkt bekämpning [201]. Dagens fjärrstyrda farkoster har dock tekniska svagheter som kraftigt begränsar deras användbarhet i en konflikt mot en kvalificerad motståndare med avancerad förmåga att störa farkosternas kommunikations- och (satellitbaserade) navigationssystem [225]. Genom att införa autonoma funktioner kan farkosten fortsätta utföra sitt uppdrag under kortare eller längre perioder med utstörd kommunikation. Det förutsätter dock ett noggrant navigationssystem som kan fungera även i telestörda miljöer. Autonomi möjliggör även ett radiotyst uppträdande. En viktig egenskap som möjliggörs med en högre grad av autonomi är att en operatör kan leda ett större antal farkoster samtidigt, alternativt leda en farkost som tillikauppgift med en begränsad kognitiv belastning. Detta är kritiskt för att nå en låg kostnad och/eller möjlighet att införa UAV:er på bredd inom Försvarsmakten.

4.2 Generella egenskaper

En översikt över de generella egenskaperna hos obemannade farkoster som opererar i de olika domänerna luft, mark (*Unmanned Ground Vehicle, UGV*) och sjö (*Unmanned Surface Vehicle, USV* och *Unmanned Underwater Vehicle, UUV*), som har bäring mot RASEVAC med främst framtida obemannade logistikplattformar, ges i tabell 4.1. Undervattensfarkoster har kraftiga begränsningar i form av exempelvis deras låga hastighet som gör dem mindre lämpliga för användning för RASEVAC. De exkluderas därför från den fortsatta analysen.

Tabell 4.1 – Övergripande jämförelse av egenskaper med relevans för RASEVAC hos obemannade farkoster som opererar i luft-, mark- eller sjödomänerna. Fokus är på farkoster som diskuteras för främre logistiktillämpningar.

Egenskap	UAV	UGV	USV	UUV
Hastighet	Hög	Låg (terräng)	Medel	Låg
Räckvidd	Lång	Kort	Medel	Kort/medel
Vibrationer	Medel	Medel/kraftiga	Medel/kraftiga	Svaga
Antal skadade	Fåtal	Enstaka	Fåtal	Enstaka
Upptäcktsrisk	Hög	Låg/medel	Medel/hög	Låg
Kostnad	Hög	Låg/medel	Låg/medel	Medel/hög

Markgående obemannade farkoster har i jämförelse med de flygande farkosterna inte nått lika långt i den tekniska utvecklingen. Det gäller exempelvis automatiserad körning i terräng, där avsaknaden av tillförlitliga navigations-system och system för att upptäcka och väja för hinder och diken (*obstacle avoidance*) och andra obemannade och bemannade plattformar (*collision avoidance*), fortsatt utgör stora utmaningar [225]. Den tekniska mognadsgraden och framkomligheten i terräng för både fyr- och tvåbenta robotar, såsom Boston Dynamic's Spot och Atlas [27], bedöms vara lägre än för militära UGV:er [225].

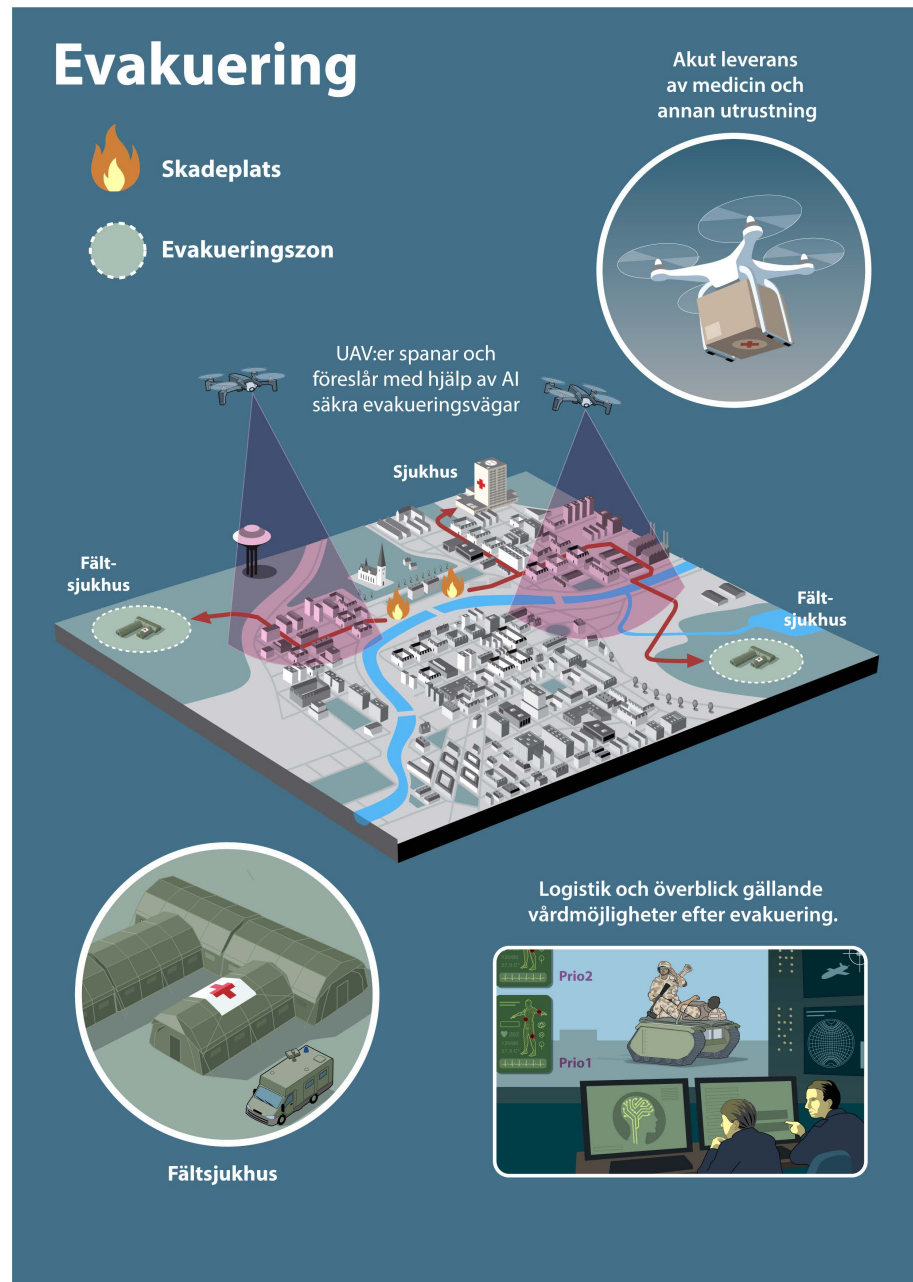
4.3 Obemannade farkoster

Obemannade logistikplattformar förväntas när de införs operativt komma att användas för att öka evakueringskapaciteten vid stora skadeutfall, se figur 4.1. Autonoma UAV:er kan stödja en evakuering genom att skapa en lägesbild och automatiskt analysera vägar och terräng, samt detektera och klassificera möjliga hot. Baserat på denna information föreslås framkomliga och säkra evakueringsvägar. UAV:er föreslås även för användning vid automatisk triage och prioritering av skadade innan utbildad sjukvårdspersonal når skadeplatsen. AI-stöttade tekniker används för triage, som baseras på information från UAV:ns visuella sensorer kombinerat med data från biosensorer på soldaterna (som skickas trådlöst på korta avstånd när UAV:n flyger i området). Automatiserade leveranser av sjukvårdsförnödenheter, läkemedel och blodprodukter genomförs utifrån mottagna skaderapporter och annan information.

I detta avsnitt ges exempel på luft-, mark- och sjöfarkoster som i framtiden skulle kunna användas för evakuering av skadade. Denna sammanställning utgör ett representativt urval, dock ingen komplett beskrivning, baserat på en genomförd analys av prototyper och experimentsystem med en varierande teknisk mognadsgrad. Sammanställningen baseras delvis på tidigare arbeten rapporterade i [225, 224] och fokus är mot farkoster med möjliga tillämpningar inom framförallt framskjuten logistik.

Tabell 4.2 – Översiktlig jämförelse mellan obemannade luft-, mark- och ytplattformar. Den maximala vikten anges för UAV:er som MTOW vid start (*Maximum Take-Off Weight*), och rotordiameter anges istället för bredd för rotorbaserade UAV:er. Angiven lastvikt gäller vid havsnivå. Hastighet och uthållighet påverkas starkt av bland annat lastvikt.

Typ	Namn	Vikt [ton]	Längd [m]	Bredd [m]	Nyttolast [ton]	Uthållighet [timmar]	Hastighet [km/h]
UAV	K-MAX	3.2	15.8	14.7	2.7 (ext.)	2.5-12	150-185
	MQ-8B	1.4	9.2	8.4	0.3	7.5	230
	MQ-8C	2.7	12.6	10.7	1.2 (ext.)	15	260
	Cormorant	1.7	7.5	2.5	0.5	2.6	180
	VoloCity	0.9	11.3	2.3	0.2	0.3	110
UGV	MUTT	1.36	2.8	1.5	0.54	-	-
	THeMIS	1.63	2.4	2.0	0.75	10-12	25
USV	PAC-24	-	7.8	2.6	-	45	70
	C-USV	-	9.5	3.5	2.2	20+	-
	ARCIMS	6.5	11.2	3.4	4	-	75
	Inspector	18.1	12.3	4.2	3	40	45



Figur 4.1 – Exempel på framtida användningsområden för autonoma farkoster inom försvarsmedicin. Kapaciteten att evakuera skadade kan utökas genom användning av obemannade logistikplattformar samtidigt som autonoma UAV:er kan ge flera kompletterande förmågor (grafik: Martin Ek).

4.3.1 UAV

Det finns ett antal obemannade UAV-utvecklingsprojekt där en mängd olika automatiserade funktioner har utvecklats och demonstrerats. US Navy har under en längre period haft obemannade helikoptrar, MQ-8B Fire Scout, stationerade på fartyg. Under perioden 2011 till 2013 genomförde även amerikanska Marinkåren försök med obemannade K-MAX i Afghanistan.

Kaman K-MAX [145] är en optionellt bemannad helikopter med plats för en pilot i cockpit, se figur 4.2. K-MAX baseras på en beprövad helikopterplattform, K-1200, som har en delvis unik design i form av två motroterande rotorblad, vilket eliminerar behovet av en stjärtrotor [144, 278]. Då all kraft kan styras till huvudrotorerna ger det en mycket god lyftförmåga (nyttolast). Marinkåren genomförde under 33 månader drygt 1700 transportuppdrag med K-MAX och levererade 2250 ton förnödenheter i form av vatten, mat, ammunition och batterier till framskjutna baser i Afghanistan, under utmanande fysiska förhållanden. För att undvika bekämpning genomfördes flygningarna mestadels nattetid och på hög höjd. Den förlitade sig dock på GPS-mottagare för brytpunktsnavigering och i en konflikt mot en högteknologisk motståndare med avancerat luftvärn och telekrigförmåga krävs ett mer robust kommunikations- och navigationssystem [86].



Figur 4.2 – Kaman K-MAX UAV vid amerikanska Marinkårens flygbas i Yuma, 2016 (Foto: George Melendez, USMC, public domain).

Office of Naval Research (ONR) har tillsammans med företaget Aurora Flight Services utvecklat ett autonomipaket inom projektet AACUS (*Autonomous Aerial Cargo/Utility System*). I AACUS har sensorer och mjukvara utvecklats som medger att moderna bemannade helikoptrar kan konverteras till autonoma obemannade UAV:er som kan genomföra bland annat logistikuppdrag [141]. Tekniken gör det möjligt att automatiskt beräkna rutt samt upptäcka och väja för hinder (exempelvis telefon- och kraftledningar) även under svåra siktförhållanden. De obemannade helikoptrarna kan även automatiskt söka av ett område med LiDAR och bedöma vilka platser som är lämpliga att landa på. Ett flertal olika helikoptrar har konverterats till autonoma farkoster med AACUS autonomipaket, t.ex. UH-1 Huey som visas i figur 4.3. Marinkåren i USA genomför nu utvärderingar av teknikens möjligheter. AACUS autonomi-algoritmer och sensorer bedöms ha en hög teknisk mognadsgrad. Det är dock utifrån öppna uppgifter svårt att bedöma vilka brister som återstår att åtgärda.

Regelverket utgör dock i nuläget troligen det största hindret för införandet av dessa autonoma plattformar. Behovet av att utveckla regelverket har även tekniska konsekvenser, när det gäller verifiering, validering och certifiering av det autonoma systemets prestanda och säkerhet. Metoder för validering genom simuleringar i kombination med flygförsök behöver utvecklas. Om exempelvis äldre helikoptrar utrustas med en förmåga som motsvarar AACUS autonomi-

system och används för obemannade logistikuppdrag kan de även transportera multipla skadade till exempelvis nivå 2 militära sjukvårdsenheter eller civila sjukhus. Även stridssjukvårdare kan då medfölja och ta hand om patienten under transporten.



Figur 4.3 – UH-1 Huey som konverterats till att bli en autonom UAV med hjälp av AACUS sensorer och autonomimjukvara (Foto: Autonom landning under flygförsök som genomfördes 2017 på Marinkårsbasen i Quantico. John F. Williams, US Navy, public domain).

Northrop Grumman's MQ-8B Fire Scout [224] är en höggradigt automatiserad UAV som använts operativt av US Navy och US Army i över ett årtionde. Den finns i ett flertal versioner och har bland annat stationerats på US Navy FFG (*Guided Missile Frigates*) och LCS (*Littoral Combat Ships*). MQ-8B Fire Scout är en vidareutveckling av den bemannade helikoptern Schweizer 333. Den kan starta och landa automatiskt på ett fartyg vid vindar upp till 13 m/s. MQ-8B Fire Scout är utvecklad med möjlighet till modulära bärlaster, där standardutrustningen består av gimbalstabiliserade elektrooptiska och infraröda (EO/IR) sensorer (*FLIR System Safire STAR II*) samt laseravståndsmätare. MQ-8B Fire Scout är utrustad med en taktisk datalänk (*Tactical Common Data Link, TCDL*) och har möjlighet att fungera som relänod för talkommunikation. MQ-8B Fire Scout kan även användas för transport av förnödenheter till markförband.

Den större MQ-8C Fire Scout [207, 204] baseras istället på den beprövade helikopterplattformen Bell 407, som utrustats med sensorer och algoritmer som ger den möjlighet att flyga autonomt, se figur 4.4. MQ-8C har en avsevärt längre uthållighet och kan bära mer sensorer och last, se tabell 4.2. MQ-8C Fire Scout förs in på US Navy LCS där den primära uppgiften är spaning, övervakning och målinmätning. Båda Fire Scout UAV:erna kan utrustas med missiler för bekämpning av exempelvis svärmar av mindre ytfarkoster. Under 2019 togs dock beslutet att MQ-8C Fire Scout i första hand ska användas för målinmätning för långräckviddlig bekämpning från fartyg i konflikter mot kvalificerade motståndare (eng. *near-peer adversaries*).

Valet att använda beprövade helikoptrar som bas reducerar utvecklingskostnaden, exempelvis när det gäller certifiering, samtidigt som det även säkerställer att tillgången till reservdelar är god. Räckvidden och uthålligheten är



Figur 4.4 – Northrop Grumman’s Fire Scout MQ-8B (vänster) och MQ-8C (höger). (Foto: US Navy, public domain)



Figur 4.5 – Tidig version av Tactical Robotic’s Cormorant UAV utvecklad för CASEVAC och logistik (Foto: Timur Saban, 2016, CC BY-SA 4.0).

lång framförallt för MQ-8C. Den har även vid en möjlig framtida användning för RASEVAC möjlighet att bära last som motsvarar upp till sex patienter (extern hängande last) förutsatt att en lämplig CASEVAC-modul utvecklas.

Tactical Robotic’s Cormorant (tidigare Air Mule) är en israelisk UAV speciellt framtagen för CASEVAC-uppdrag och logistiktransporter [276]. Cormorant lyfts av två rotorerna som är integrerade i flygkroppen (av typen *Duct Fan*) vilket tillsammans med att den endast är 2,5 m bred medför att den kan flyga och landa i exempelvis trånga stadsmiljöer där helikoptrar inte kan landa. Figur 4.5 visar en tidig version av Cormorant (de bakre rotorerna är numera borttagna) [286]. Den kan även operera i kraftig vind, upp till 20,6 m/s. Cormorant kan transportera två patienter samtidigt inne i UAV:n. Med en last på 500 kg så har Cormorant en uthållighet på en timme (räckvidd knappt 30 km). Den kan flyga i trånga stadsmiljöer och landa på liten yta ($40m^2$) och dess akustiska signatur är tack vare de inbyggda rotorerna relativt låg [275].

Inom den kommersiella sektorn pågår en snabb utveckling inom området elektriskt drivna UAV:er som kan starta och landa vertikalt (eng. *electrical Vertical Take-Off and Landing, eVTOL*) för framförallt kortare persontransporter i urbana miljöer exempelvis mellan städer och närliggande flygplatser där bilköer ofta leder till långa körtider. Exempel på utvecklingsprojekt inklude-



Figur 4.6 – Volocopter’s VoloCity eVTOL UAV utvecklad för Urban Air Mobility tillämpningar (t.ex. flygande taxi). (Foto: Alexander Migl, CC BY-SA 4.0)



Figur 4.7 – Demonstrator av autonom eVTOL, Airbus Vahana, förevisad i Paris, 2019 (Foto: VFS Staff, CC BY-SA 4.0).

rar Volocopter’s VoloCity, Airbus A3 Vahana och CityAirbus samt AirSpaceX MOBi-ONE. VoloCity drivs av 18 rotor och elektriska motorer, placerade i två olika stora cirklar, se figur 4.6. Den valda designen, med ett stort antal mindre rotor, ger VoloCity en mycket låg akustisk signatur [290]. Volocopter har även utvecklat en prototyp av en mindre autonom UAV benämnd VoloDro-ne [291], som är baserad på samma koncept, som kan förflytta laster (externt) på 200 kg i upp till 40 km. Airbus har utvecklat två eVTOL demonstratorer, Vahana och CityAirbus, och erfarenheterna från dessa utvecklingsprojekt kommer att utgöra underlag för nästa generations eVTOL där ambitionen är att utveckla ett kommersiellt autonomt system [70]. Riktningen på Vahana’s åtta rotor kan ändras (genom att vingarna tillas) så att den kan starta och landa vertikalt och under färd kan flyga som ett traditionellt propellerflygplan, se figur 4.7. Dessa eVTOL-prototyper kan potentiellt evakuerar en till två patienter. Uthålligheten bedöms under de närmaste åren vara begränsad p.g.a. deras eldrift och räckvidder väsentligt över 50 km förväntas inte nås på kort sikt.

Åtvidabergsföretaget ACC Innovation utvecklar en tung multirotor-UAV, benämnd ThunderWasp II [1]. Den är ursprungligen avsedd för att snabbt förflytta en UAV till dess operationsområde och agera som moderplattform för denna. En konceptstudie har genomförts där ThunderWasp II istället bär en nyttolast i form av en sjukvårdsmodul för förflyttning av patienter [223]. Ett begränsat antal flygningar, där den varit förankrad i marken, har än så länge genomförts med denna UAV. ThunderWasp II har en nominell angiven uthål-

lighet på drygt tre timmar med en last på 300 kg. ThunderWasp är designad med två fristående flygmoduler, som vardera innehåller två rotor och motorer, och en nyttolastmodul som placeras mellan dessa. Denna design ger möjlighet att utveckla och införa flexibla uppdragsanpassade nyttolastmoduler. Enligt ACC Innovation kan UAV:n skalas upp för att bära nyttolaster upp till ett ton. En generisk transportmodul kan exempelvis utvecklas, med möjlighet till snabb och enkel anpassning till en evakueringsmodul med möjlighet att evakueras två eller fler skadade. Graden av autonomi är dock fortfarande låg för denna plattform.

4.3.2 UGV

Det pågår en snabb utveckling av mindre UGV:er med möjlighet att bära uppdragsanpassade nyttolaster, bland annat för logistik. Två intressanta exempel är General Dynamic Land System's MUTT (*Multi-Utility Tactical Transport*), som nu förs in i US Army, och MILREM's THeMIS (*Tracked Hybrid-electric Modular Infantry System*) som i olika versioner nu utvärderas av ett flertal europeiska länder. Det pågår även en internationell kapprustning avseende bepansrade och tungt beväpnade UGV:er för stridsuppgifter [225]. Det är sannolikt att denna typ av UGV:er även kommer att användas för CASEVAC när behovet uppstår.

MILREM's THeMIS [188] är en flexibel, modulär UGV med diesel-elektrisk hybriddrift. Ett av de tänkta användningsområdena är logistik. Utveckling pågår med att ta fram andra uppdragsspecifika sensorer och beväpning anpassade för uppdrag som spaning, övervakning och målinmätning, kommunikationsrelä och stridsuppgifter [225]. THeMIS har en angiven maximal hastighet på 25 km/h men framförs vid automatiserad körning endast i hastigheter upp till 12 km/h. Uthålligheten vid ren elektrisk drift är drygt en timme medan den i hybriddrift ökar till över tio timmar. THeMIS har vid övningar och demonstrationer utrustats med en bår, exempelvis vid AWE18 (*Army Warfighting Experimentation*) som genomfördes på Salisbury Plains i Storbritannien 2018, se figur 4.8. En till två skadade kan även placeras i bårkorgen. Denna typ av mindre bandgående UGV:er utsätter dock de som evakueras för kraftiga vibrationer, framförallt när den framförs i terräng.

General Dynamics Land System's MUTT [189, 102] är en åttahjulig UGV som främst är avsedd att bära soldaternas utrustning och även försörja soldaternas elektroniska system med ström (laddning av batterier), se figur 4.9. Modulära bäraster utvecklas som är anpassade för andra uppdrag (spaning, övervakning och målinmätning, CASEVAC, eldunderstöd, m.m.). MUTT har en räckvidd på knappt 100 km. Den kan styras med en handkontroll eller automatiskt följa en utvald soldat. MUTT valdes under 2019 ut som den vinnande plattformen i US Army SMET-program (*Squad/Small Multipurpose Equipment Transport*) och i en första beställning har över 620 MUTT införskaffats där leveranser påbörjas under 2021. Eftersom MUTT är avsedd att stödja en grupp av soldater vid förflyttning eller patrullering till fots så är även dess hastighet anpassad till denna uppgift. MUTT kan även användas som en RASEVAC-plattform och evakuera två patienter på en bår eller fyra sittandes. Vibrationerna bedöms vara något lägre än för THeMIS.

US Army avser utveckla ett optionellt bemannat stridsfordon (*Optionally-Manned Fighting Vehicle, OMFV*) som ersättare till den ålderstigna M2 Bradley [225]. I mars 2019 släpptes en motsvarande RfP (*Request for Proposal*) och i oktober valdes GDLS teknologidemonstrator Griffin III ut. En ny upphandling har dock påbörjats med syftet att genomföra en utveckling med flera konkurrerande plattformssystem. Rheinmetall-Raytheon's Lynx KF41 som visas i



Figur 4.8 – MILREM'S THeMIS utrustad med bärkorg och en enkel bår (Foto: FOI).



Figur 4.9 – GDLS Multi-Utility Tactical Transport (MUTT) (Foto: US Army, public domain).



Figur 4.10 – Rheinmetall's Lynx KF-41 (Foto: Rheinmetall MAN, CC BY-SA 4.0).

figur 4.10 var ett av de ursprungliga konkurrerande systemen för en framtida OMFV. En grupp på nio soldater ska kunna få plats i en Lynx KF41. Raytheon's aktiva motmedelssystem (*Active Protection System, APS*) används. Lynx KF41 kan även utrustas med multipla Coyote UAV:er som kan utföra spaning, övervakning och målinmätning (eng. *Reconnaissance, Surveillance, Target Acquisition, RSTA*) eller bekämpa fientliga UAV:er [225].

Förmågan till automatiserad körning i svår och okänd terräng och typiska norrländska vinterförhållanden bedöms dock inte finnas tillgänglig förrän bortom år 2035. Fram tills denna förmåga är utvecklad, vilket förväntas ske genom gradvisa förbättringar, kan vissa plattformar framföras fjärrstyrt (teleopererad) eller genom att möjliggöra optionellt bemannade plattformar där en förare styr plattformen i svårare terräng eller då den behöver förflytta sig snabbt [225]. Obemannade stridsfordon kan, på samma sätt som bemannade stridsfordon har använts, komma att användas även för snabb evakuering av skadade. På sikt kan även ett obemannat ambulansfordon utvecklas men för att detta ska vara motiverat bör även AI-baserad robotiserad vårdförmåga utvecklas parallellt.

4.3.3 USV

Utvecklingen av USV:er har gått långsamt i jämförelse med framförallt UAV:er. Ett fåtal länder, främst Israel och även Singapore, införde USV:er operativt för ett drygt decennium sedan, men det är först de senaste åren som US Navy och även europeiska marinstridskrafter på allvar påbörjat experimentering i syfte att utveckla operativt effektiva koncept. De USV:er som beskrivs i detta avsnitt är representativa för utvecklingen i USA, Europa och även Israel, där en mer generell USV utvecklats med standardiserade gränssnitt och möjlighet att utveckla uppdragsspecifika nyttolaster [224]. USV:erna är mellan 7 och 12 m långa och kan bära laster på mellan två och fyra ton, se tabell 4.2. Deras uthållighet och räckvidd medför att de i många scenarion kan utgå från bas utan att behöva stationeras på ett större fartyg.

Till skillnad från utvecklingen inom autonoma markgående och flygande plattformar så utgör obemannad logistik ännu inte en prioriterad förmåga in-

om den marina domänen, utan utvecklingen fokuserar primärt mot utveckling av förmåga till minjakt och minsvepning (*Maritime Mine Counter Measures, MMCM*), ubåtsjakt och ytstrid [224]. En orsak kan vara att tekniken redan är utvecklad för att möjliggöra logistikförmåga, samt att obemannad logistik vid expeditionära uppdrag inte har setts som en prioriterad förmåga. För Amfibieförband som opererar kustnära i skärgården kan en sådan förmåga potentiellt vara mer intressant. Ett alternativ skulle kunna vara att använda Försvarsmaktens grupp båtar (G-båt) genom att integrera s.k. *appliqué kits*. En dylik USV avsedd för transporter bör även enkelt kunna användas för RASEVAC.

BAE Systems Pacific 24 (P24) är en 7,8m lång obemannad RIB (eng. *Rigid Inflatable Boat*) som utvecklas av Royal Navy i Storbritannien inom ramen för programmet Navy X [224]. Stora delar av tekniken har de senaste åren utvecklats med en större Pacific 950 som plattform, där autonomialgoritmer som uppfyller det internationella regelverket för undvikande av kollisioner till sjöss (eng. *International Regulations for Preventing Collisions at Sea, COLREG*) har utvecklats av L3Harris ASV på uppdrag av DSTL (*Defence Science and Technology Laboratory*). En övergång till P24 är logisk då bemannade sådana redan finns på Royal Navy's fartyg (Typ 23 Fregatter). Den kan framföras i över 70 km/h och har en maximal uthållighet (beroende på hastighet och last) på nästan två dygn.

Atlas Elektronik UK ARCIMS (*Atlas Remote Combined Influence Minesweeping System*) är en 11,2 m lång optionellt bemannad multirollplattform med modulära uppdragsmoduler [15]. ARCIMS kan agera bärarplattform för obemannade undervattensfarkoster, såsom AUV:er (*Autonomous Underwater Vehicle*) för exempelvis minjakt och fjärrstyrda ROV:ar (*Remotely Operated Vehicle*) för neutralisering av sjöminor. Nyttolastmoduler för ubåtsjakt kan inkludera aktiva och passiva sonarer, sonarbojar och dippsonarer. ARCIMS kan även genomföra uppdrag som spaning, övervakning och målinmätning. ARCIMS kan bära fyra ton nyttolast.

ECA Group's Inspector 125 är en 12,3 m lång USV som baseras på ett kommersiellt utvecklat osänkbart skrov (MAURIC V2 NG) som är utvecklad för operationer i grov sjö [62]. Den är främst utvecklad för minsvepning och minjakt, men kan bära modulära nyttolaster. Inspector USV:er finns i flera modeller och storlekar och kan bära laster på tre ton.

Textron System's Common USV [63] används inom US Navy utvecklingsprogram UISS (*Unmanned Influence Sweep System*) och dess primära användningsområde är som obemannad minsvepningsresurs ombord på US Navy LCS (*Littoral Combat Ships*). Common USV införs nu av US Navy i ett mindre antal, se figur 4.11. Den är utvecklad specifikt med modularitet i åtanke, den baseras på öppen standardiserad arkitektur och upphandlingen av själva USV:n är separerad från utvecklingen och upphandlingen av modulära nyttolaster. Common USV har vid olika marinövningar påvisat förmågan att navigera autonomt och upptäcka och väja för andra farkoster och hinder, samt följa det internationella regelverket för att förhindra kollisioner med andra fartyg (COLREG) [224]. Den kan bära nyttolaster på drygt två ton.

En G-båt kan sannolikt utrustas med sensorer och autonomimjukvara för att konvertera den till en obemannad logistikplattform som kan transportera förnödenheter och genomföra CASEVAC. Storleksmässigt kan två skadade evakueras liggande på bår eller i en framtida CASEVAC-pod, eller åtta lättare skadade sittandes. G-båten är 8 m lång och har ett djupgående på endast 3 dm, se figur 4.12. SAAB/Kockums genomför även tillsammans med Dockstavarvet försök med en obemannad stridsbåt, CB90H Enforcer III, se figur 4.12.



Figur 4.11 – Prototyp av Common USV under övning ANTX19 (Foto: LCpl. Nicholas Guevara, US Marine Corps, public domain).



(a)



(b)

Figur 4.12 – Vänster: Bemannad G-båt (Foto: Försvarmakten). Höger: Obemannad CB90H experimentplattform vid försök utanför Gränsö (Foto: FOI).

4.4 Autonom försörjning av medicinska förnödenheter och blodprodukter

Autonoma UAV:er ses som en potentiellt viktig resurs för framtidens stridssjukvård. Även mindre UAV:er kan genomföra medicinska logistikuppdrag som att transportera blodprodukter och medicinsk utrustning, samt även transportera telemedicinsystem till stridssjukvårdare eller sjukvårdsgrupp [78].

Tillgången till blodprodukter är delvis begränsad och vissa produkter som trombocyter och tinad blodplasma har en kort hållbarhet (mindre än en vecka) [279]. De riskerar att bli gamla och obrukbara om de distribueras brett som en förebyggande åtgärd och det är idag endast större sjukvårdsenheter som har en god tillgång till alla typer av blodprodukter. Blodprodukter och annan medicinsk utrustning transporteras idag med markfordon eller bemannade flygtransporter till mindre sjukvårdsenheter när behov uppstår. Vid olika typer av naturkatastrofer kan framkomligheten för markbundna transporter försämrast kraftigt genom att exempelvis vägar eller broar förstörs. Flygburna bemannade transporter är å andra sidan mycket kostsamma och flygresurserna är begränsade. Det är ur ett logistiskt perspektiv inte önskvärt att kvalificera-

de sjukvårdshelikoptrar används för att frakta blodprodukter som väger några enstaka kilogram. Även vid militära operationer kan möjligheterna att i tid få fram medicinska förnödenheter via marktransporter vara kraftigt begränsade. Bemannade logistiktransporter löper även risk för fientlig bekämpning.

RPAS har använts i mer än ett årtionde för att frakta medicinsk utrustning och skapa en lägesbild vid naturkatastrofer, som jordbävningen i Haiti (2010) och orkanen Katrina (2005) [165]. Vid större naturkatastrofer som när orkanen Maria drabbade Puerto Rico 2017 utgör distributionen inom landet av medicinsk utrustning den stora utmaningen [279]. Stora mängder medicinsk utrustning och mediciner anlände till hamnar och flygplatser från utlandet men de kunde inte distribueras vidare på ett effektivt sätt på grund av den enorma ödeläggelsen [279]. Flera företag arbetar nu med att transportera blodprodukter och patientprover med UAV:er. Regelverket begränsar idag i många västländer användningen av autonoma UAV:er som opererar bortom visuell *line-of-sight* (BVLOS), vilket begränsat användningen av UAV:er till korta sträckor mellan närliggande sjukvårdsinrättningar [154]. Sådana transporter genomförs i ett flertal länder och försök har även genomförts i Göteborg. Transporter av vaccin, blodprodukter och mediciner kan genomföras till en låg kostnad genom att använda mindre obemannade UAV:er. Det förutsätter dock att de flyger autonomt även längre sträckor (BVLOS) och att en operatör kan övervaka ett större antal UAV:er samtidigt.

Transporter av blodprodukter utgör en särskild logistisk utmaning då vissa av dessa produkter har en begränsad hållbarhet och har strikta krav på temperaturhållning, samtidigt som de volymer som behöver skickas i många scenarion är relativt små. Det möjliggör att mindre UAV:er ska kunna användas i denna tillämpning. Mindre multirotorbaserade UAV:er har normalt en kort flygtid vilket medför att de endast kan förväntas genomföra korta transporter från relativt närliggande mellanlagringsstationer ut till en skadeplats eller skadeuppsamlingsplats. Marinkåren i USA har utvecklat ett sådant koncept och genomfört en demonstration [120] med 32 UAV:er som levererade mindre mängder förnödenheter från mindre distribuerade lager [268]. I marinkårens demonstrationssystem (*Hive Final Mile Project*) användes olika multirotor-UAV:er, se figur 4.13.

För att nå en effektiv användning specifikt av blodprodukter är det dock troligt att även längre transporter krävs. Dessa genomförs då istället med flygplansliknande UAV:er (s.k. *fixed-wing*), som eventuellt även ges förmåga att starta och landa vertikalt exempelvis genom att integrera rotorerna ovanpå vingarna. Valet av plattform påverkas av önskad räckvidd och lastvikt.

Experimentella studier, som dock genomförts endast i begränsad omfattning, indikerar att blodprodukterna inte påverkas negativt av transport med dessa relativt långsamma och lågtflygande UAV:er [309, 6]. Tidigare studier har även visat att blodprover inte påverkas negativt vid UAV-transport. Däremot finns indikationer på att vissa blodprodukter potentiellt kan påverkas av fall från högre höjder (i [308] erhålls viss påverkan vid fall från 10 m). Försiktighet bör iaktas när det gäller att låta blodet släppas från en lågtflygande UAV innan utvärderingar av eventuella negativa effekter har genomförts.

Zipline International [313] har sedan 2016 använt UAV:er för att leverera blodprodukter till stora delar av Rwanda utanför huvudstaden Kigali. Zipline har nyligen även påbörjat verksamhet i Tanzania och Ghana för att leverera vacciner, blodprodukter och mediciner, medan Indien och Filippinerna har långt gångna planer på att påbörja sådan verksamhet. I Sydafrika har under flera år HIV-prover fraktats med UAV i Lesotho. Behovet av snabba och billiga transporter av blodprodukter är stort i Afrika, där stora delar av befolkningen bor i avlägsna, delvis svårframkomliga områden med långa transporttider till



Figur 4.13 – En multirotor-UAV lyfter vid slutdemonstrationen av projektet *Hive Final Mile* som genomfördes vid marinkårsbasen i Quantico, Virginia. (Foto: Sgt. Jacqueline A. Clifford, USMC, public domain)



(a)



(b)

Figur 4.14 – Zipline UAV som genomför leverans av blodprodukter med fallskärm (vänster) och fångas upp med lina (höger) i Rwanda (Foto: Roksenhorn – eget arbete, CC BY-SA 4.0).

närmaste sjukhusinrättning. Liknande behov finns även i många västländer, för exempelvis transport av blodprodukter till avlägsna öar. De stora avstånden i exempelvis nordöstra Kanada utgör även en särskild utmaning.

Den UAV som används av Zipline kan bära laster på knappt två kilogram och den har en räckvidd på omkring 80 km vid en marschfart på 100 km/h. Vid fel på plattformen kan den landa med en nödfallskärm. Zipline UAV skjuts upp med hjälp av en katapult och vid återkomst till distributionscentralen fångas den upp med en fångstlina, se figur 4.14. Den kan lasta produkterna automatiskt och startar en minut efter att beställningen ankommit. Lasten släpps med fallskärm från UAV:n vid en förutbestämd landningsplats.

Avy är ett Nederländskt företag som utvecklat en vingformad UAV (Aera) med rotorerna ovanpå vingen som möjliggör vertikal start och landning. Avy Aera [18] har en räckvidd på 70 km och en flygtid på ca en timme. Den är avsedd att transportera mediciner, blod och vacciner, samt prover till laboratorium.

Ett VINNOVA-finansierat forskningsprojekt genomfördes 2018-2019 på Chalmers benämnd TRALLA (Transport av lätta laster på långa avstånd) [36, 8]. I projektet utvecklades en UAV där vingarna kan tiltas beroende på önskad flygmod. Det möjliggör att plattformen kan starta och landa vertikalt. Syftet med projektet var att demonstrera möjligheten att leverera mediciner och prover mellan vårdcentraler och virtuella hälsorum i Norrlands inland. Den prototyp som utvecklades har en vingbredd på två meter, väger 30 kg och kan transportera 8 kg på avstånd upp till 70 km.

En översiktlig jämförelse av olika UAV:er ges i tabell 4.3. Plattformarna flyger autonomt till ett landningsområde men de är i dagsläget beroende av mottagare för GNSS (*Global Navigation Satellite System*) för sin navigering. Robusta navigeringssystem, som inte är beroende av GNSS-mottagare som relativt enkelt kan störas ut, behöver utvecklas för att dessa ska vara användbara i militära konfliktzoner. Ett lättanvänt intuitivt användargränssnitt är även av kritisk betydelse för att minimera den kognitiva belastningen hos användaren vid en beställning av exempelvis blodprodukter och vid en eventuell omdirigering av transporten [77]. För att nå en låg kostnad behöver en operatör kunna leda ett större antal transport-UAV:er vilket ställer krav på autonoma plattformar och möjlighet att flyga längre sträckor (BVLOS). De nationella regelverken för autonom flygning BVLOS utgör idag de största hindren.

Tabell 4.3 – Översiktlig jämförelse mellan Zipline, Avy Aera och TRALLA.

UAV	Lastvikt [kg]	Räckvidd [km]	Start/landning	Mognadsgrad
Zipline	1.75	80	Katapult/ fångstlina	Produkt
Avy Aera	2.2	70	VTOL-kapabel	Produkt
TRALLA	8	70	VTOL-kapabel	Demonstrator

4.5 Obemannad och autonom evakuering av skadad

I [78] beskrivs tre huvudsakliga användningsområden för obemannade plattformar inom området försvarsmedicin: (i) transport av mediciner och materiel, samt blodprodukter, (ii) ge möjlighet till snabbare evakuering av skadade (*Casualty Evacuation, CASEVAC*) och (iii) stödja införandet av telebaserade sjukvårdstjänster till framskjutna platser där skadade vårdas. I detta avsnitt beskrivs först möjligheter och utmaningar med att i framtiden genomföra CASEVAC med obemannade farkoster som normalt utför logistikuppdrag, se figur 4.15. RASEVAC används i denna rapport för att beskriva en evakuering av skadade med obemannade farkoster. Exempel på obemannade farkoster som i framtiden kan komma att användas för RASEVAC ges och deras tekniska status och kvarvarande utvecklingsbehov analyseras.

De potentiella fördelar som kan erhållas med obemannad CASEVAC är främst att de möjliggör en snabb uppskalning av evakueringsförmågan (eng. *force multiplier*) vid stora skadeutfall och att de kan operera i scenarion där bemannade system inte kan eller bör användas. Det senare gäller exempelvis där kraftig fientlig eldgivning kan förväntas, vid svåra väderförhållanden (såsom begränsad sikt eller hård vind) eller i trånga stadsmiljöer där traditionella bemannade helikoptrar har svårt att utföra sitt uppdrag. RASEVAC ger även möjlighet till säkrare evakuering av skadade från miljöer som kontaminerats av kemiska, biologiska, radiologiska eller nukleära ämnen. Obemannade system



(a)



(b)

Figur 4.15 – Obemannad markplattform för: (a) logistik och (b) evakuering
(Grafik: Martin Ek).

kan även möjliggöra utökade smygegenskaper vid evakuering av skadade, med lägre visuell, akustisk och termisk signatur.

På kort- och medellång sikt (5-15 år) förväntas RASEVAC genomföras med hjälp av icke-dedikerade evakueringsplattformar (eng. *platforms-of-opportunity*). Det gäller främst användningen av obemannade logistikplattformar som vid stora skadeutfall förväntas komma att användas för att öka förmågan till snabb evakuering från skadeplats eller skadeuppsamlingsplats. En dedikerad obemannad MEDEVAC-resurs kan även komma att utvecklas på längre sikt, men det förutsätter även en parallell utveckling av robotiserad AI-stöttad medicinsk vård som ersätter sjukvårdspersonal under evakueringen. Utvecklingen av en robotiserad vårdförmåga bedöms dock i nuläget utgöra en större utmaning i jämförelse med utvecklingen av obemannade, autonoma plattformar. En robotiserad vårdresurs förväntas dock även på kortare sikt kunna komplettera och stötta sjukvårdspersonalen vid bemannad evakuering.

Icke-dedikerad, obemannad CASEVAC, s.k. opportunistisk CASEVAC, är inget nytt koncept (där obemannade logistikplattformar som befinner sig i närområdet rekvideras för att istället genomföra evakuering av skadade) sägs ha utförts redan under Vietnamkriget där experiment genomfördes med fjärrstyrda minsvepningsfarkoster på Mekongfloden.

Idag styrs alla operativa obemannade flygande plattformar av en operatör från en markstation (*Remotely Piloted Aerial System, RPAS*) men utvecklingen av autonomt flygande system har kommit långt i exempelvis USA. Det är idag främst de nationella regelverken som begränsar användningen av autonoma flygande plattformar.

Utvecklingen förväntas internationellt gå mot en gradvis ökad användning av obemannade system för CASEVAC, men där valet av RASEVAC ska baseras på en bedömning av att en sådan transport gynnar patienten [78]. Olika utvecklingsinriktningar kan urskiljas med delvis olika förutsättningar och utvecklingsbehov:

- Opportunistisk CASEVAC med omodifierade logistikplattformar.
- Opportunistisk CASEVAC med logistikplattformar med anpassad nyttolast.
- CASEVAC med dedikerad evakueringspodd.
- Dedikerad MEDEVAC-plattform.

Patientens skadesituation skall vara avgörande för om, och i så fall hur, RASEVAC kan genomföras. I vissa situationer behöver patienten även åtföljas av exempelvis en stridssjukvårdare under transporten, vilket begränsar evakueringsmöjligheterna till större obemannade plattformar. Notera att CASEVAC med en dedikerad evakueringspodd, som på lång sikt även kan innehålla kvalificerad robotiserad sjukvårdsförmåga, förväntas även komma att genomföras med bemannade plattformar.

4.5.1 Opportunistisk CASEVAC med renodlad logistikplattform

Det pågår en snabb utveckling av autonoma logistikplattformar internationellt, där både flygande och markgående plattformar kan fylla olika logistikbehov. US Navy har kommit långt i utvecklingen av framförallt autonoma helikoptrar, men US Army inför även obemannade markfordon som ska bära en grupp soldaters utrustning. Även Storbritannien arbetar intensivt med att utveckla koncept för autonom framskjuten logistik (last-mile resupply) med mindre UGV:er.

Logistikplattformarna förväntas till en början inte vara anpassade för evakuering av skadade men när de börjar föras in operativt kan de även komma att

användas för RASEVAC om ett sådant behov uppstår. Det är dock idag oklart om en sådan evakuering riskerar att förvärra patientens tillstånd, exempelvis i form av G-krafter vid luftburen evakuering [200]. För mindre UGV:er kan även de kraftiga vibrationerna som en fast monterad bår utsätts för utgöra en potentiell hälsorisk för patienten beroende på typ av skada. Det finns därmed ett behov av ökad kunskap om potentiella risker med olika RASEVAC-plattformar för att ge befälhavaren ett stöd inför beslut om att evakueras skadade. En relativ riskanalys kan då behöva genomföras där riskerna för patienten som uppstår av att vänta in en konventionell evakueringsresurs vägs mot den fördel, i form av ett snabbare omhändertagande av kvalificerad sjukvårdspersonal efter transporten, och de risker som en RASEVAC förväntas medföra. För att en befälhavare ska kunna genomföra en relativ riskanalys behövs förbättrad kunskap om de eventuella risker som en RASEVAC kan medföra:

- Utarbeta anvisningar för tillräckligt säker RASEVAC, s.k. *safe ride standards*, som även analyserar de risker som en patient kan utsättas för vid användningen av olika typer av obemannade farkoster. Ett dylikt förslag har tidigare tagits fram riktat mot RASEVAC med UAV:er [200] men motsvarande arbeten bör genomföras även för UGV:er och USV:er.

4.5.2 Opportunistisk CASEVAC med anpassad nyttolast

Vid utvecklingen av autonoma plattformar som primärt är avsedda för logistik men som även kan komma att genomföra CASEVAC är det möjligt att anpassa plattformarna och deras nyttolast så att CASEVAC kan genomföras på ett säkrare sätt. Sådan utveckling sker redan idag på industrins initiativ exempelvis genom att enklare anpassad nyttolast utvecklas (exempelvis i form av stötdämpande bårar som kan placeras på en UGV). Som ett led i denna utveckling finns ett behov av kunskapsuppbyggnad och teknikutveckling inom följande områden:

- Kunskapsunderlag för framtagande av standarder för säker patienttransport (eng. *safe ride standards*) för olika typer av obemannade plattformar.
- Utveckling av dedikerade nyttolaster¹ för CASEVAC som är anpassade för olika typer av plattformar.
- Utveckling av anpassade kör- och flygprofiler, samt ruttvalsalgoritmer, för autonoma plattformar som reducerar risken att patienten utsätts för negativa effekter och att framtida *safe ride standards* kan uppfyllas.
- Integrera CASEVAC-uppdrag i logistikplaneringen. Utred möjligheten att applicera AI-algoritmer som beslutsstöd för effektivare ledning av logistikresurserna, där även sjukvårdskedjans behov tillgodoses [138].

4.5.3 CASEVAC med dedikerad evakueringspod

Genom att utveckla en dedikerad evakueringsmodul kan sannolikt en mer patientsäker RASEVAC-förmåga uppnås. En evakueringspod utgör ett specialfall av ovanstående, med en mer avancerad (nyutvecklad) nyttolast.

I [78] diskuteras fördelarna med en enklare, lättviktig evakueringsmodul (evakueringspod) för traumapatienter som snabbt kan monteras i generella transportmoduler. Detta förväntas öka evakueringskapaciteten jämfört med att utveckla dedikerade specialanpassade evakueringsmoduler, som endast kan förväntas finnas i en mer begränsad omfattning. En sådan evakueringspod bör

¹Resurser bör dock inte avsättas specifikt från medicinområdet för utvecklingen av de obemannade logistikplattformarna.

även integrera möjlighet till telemedicin där en utbildad sjukvårdsresurs med stöd av biosensorer och ett AI-baserat beslutstöd kan bedriva robotiserad vård på distans under transport [78].

Det finns ett flertal utmaningar som behöver adresseras vid en utveckling av en evakueringspod:

- Utveckling av en generisk evakueringspod, med standardiserade fästen och eluttag, samt lednings- och kommunikationsgränssnitt, som kan bäras av ett stort antal olika bemannade och obemannade plattformar.
- Utveckla grundläggande vårdförmåga, exempelvis fixera arm- och benbrott, administrera vätska, etc.
- Integrera möjlighet att nyttja biosensorer för övervakning av vitalparametrar på patienterna och kommunikationsmöjlighet till kvalificerad vårdresurs.
- Utveckla möjlighet för mer avancerad robotiserad vård med stöd från biosensorer och AI-baserade beslutsstöd, under distansövervakning av kvalificerad sjukvårdsresurs som kan monitorera hälsoparametrar och vid behov anpassa vårdinsatserna.

4.5.4 Dedikerad MEDEVAC

Det bedöms först vara i samband med att en avancerad evakueringspod (eller liknande förmåga) med möjlighet att ge adekvat vård finns tillgänglig som det blir aktuellt att utveckla en dedikerad obemannad MEDEVAC-resurs. Sjukvårdspersonalen som genomför en MEDEVAC utgör en högt utbildad och begränsad resurs och nyttan med att framföra en MEDEVAC-plattform med sjukvårdspersonal ombord obemannat är begränsad. Däremot kommer sannolikt redan i närtid olika typer av stöd finnas tillgängligt för helikopterpiloter som gör exempelvis landning under svåra siktförhållanden säkrare genom att använda samma tekniker som förs in på de obemannade systemen. Det innefattar bland annat laserradar (LiDAR) kombinerat med automatisk utvärdering och val av landningsområde vid begränsade siktförhållanden.

4.5.5 Konceptskiss för dold evakuering i skärgårdsmiljö

I konceptet för dold CASEVAC i skärgårdsmiljö som togs fram som ett led i NATO förstudien i appendix C föreslås att en flytande evakueringspod används, som har möjlighet att transporteras med delar av den under ytan (s.k. *semi-submersible*) vilket ger möjlighet till en låg visuell, termisk och radarsignatur. En sådan evakueringspod skulle kunna bogseras av ett eller flera små obemannade system, t.ex. flera samverkande mindre multirotor-UAV:er, en obemannad *jet board* [157], en Piraya USV eller en UMS Skeldar UAV [285], se figur 4.16. Liknande plattformar skulle kunna finnas tillgängliga även på mindre marina farkoster (exempelvis stridsbåt) i framtiden.

4.6 Beslutsstöd för effektivare användning av sjukvårdsresurser

I [138] ges en utmärkt översikt över hur AI och optimeringstekniker kan användas för att ge ett beslutstöd för hur exempelvis fältambulanser och MEDEVAC-resurser bör utlokaliseras inför en strid. Liknande tekniker har i simuleringar visat sig kunna ge förslag på hur ambulanser ska distribueras på Södermalm för att minimera utryckningstiderna [72]. AI-algoritmen tar hänsyn till ett antal parametrar såsom vägnät, trafikintensitet, prioritering av skador och avstånd till andra ambulanser och vårdinrättningar.



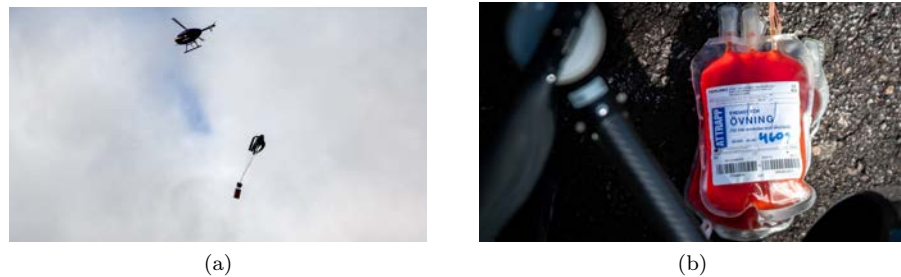
Figur 4.16 – Vänster: UMS Skeldar V-200 (CC BY-SA 4.0). Höger: SAAB/Kockums Piraya experimentplattform (Foto: FOI).

I en försvarsmedicinsk kontext behöver ytterligare faktorer tas hänsyn till, bland annat framkomlighet (blockerade vägar eller terrängens förskaffenhet), identifierade hot, sannolikhet för skador och typ av skador i olika geografiska områden samt eventuella bivillkor som ställs exempelvis i form av väpnad eskort [138]. Även möjligheten att allokera logistikresurser, framförallt autonoma farkoster, kan integreras i ett sådant beslutsstöd. Metoden behöver även kunna hantera snabbt föränderliga förlopp.

Maskininlärningsalgoritmer har tränats till att prediktera skadeutfalls-sannolikheter och typ av skador i olika regioner [138], vilket utgör en central del i ett beslutsstödsystem. Tillgången till representativa träningsdata för det dimensionarnde scenariot med en konflikt mot en kvalificerad motståndare bedöms vara begränsad. Syntetiska träningsdata kan eventuellt tas fram genom simuleringar. Optimeringstekniker kan sedan appliceras för att ge förslag på hur resurser bör utlokaliseras och vilka enheter som bör sändas på respektive uppdrag [138].

4.6.1 Exempel på försvarsmedicinska användningsområden för autonoma UAV:er

Autonoma UAV:er bedöms kunna bidra med intressanta förmågor inom framtida försvarsmedicintillämpningar. Stridstekniska UAV:er kan exempelvis stödja en sjukvårdsgrupp på flera sätt inför och under omhändertagandet av skadade. Stridstekniska RPAS används operativt framförallt för spaning och övervakning, samt målinmätning, och även dagens fjärrstyrda system kan ge en lägesbild lokalt över skadeplatsen. En RPAS som levererar en videoström till sjukvårdsgruppen underlättar för dessa att bilda sig en uppfattning om antal skadade och deras positioner, huruvida de fått rudimentär behandling av stridssjukvårdare, vilken typ av skador som kan förväntas, om det finns fientliga enheter i området och möjliga framryckningsvägar. Enskilda soldaters skadeläge kan potentiellt även bedömas genom att trådlöst samla in information från skadade soldaters biosensorer kompletterat med videoanalyser. UAV:ns termiska sensorer kan även användas för att hitta skadade, vilket idag genomförs vid exempelvis trafikolyckor där exempelvis passagerare har slungats ut ur bilen och inte påträffats av räddningspersonalen. Ledningen av UAV:n och analyserna bör dock genomföras autonomt för att minska belastningen på sjukvårdspersonalen och snabba upp omhändertagandet. Manuella analyser av video från UAV kan leda till att tempot i operationen sänks, framförallt då otränad personal genomför analyserna.



Figur 4.17 – Demonstration av möjligheten att leverera blodprodukter med UAV genomfördes på K3 i september 2020 (Foto: Henrik Börjesson och Robin Kruger, Försvarsmakten).

Ett annat exempel är autonoma UAV:er för transporter av medicinsk utrustning och blodprodukter (figur 4.17) [100]. Denna typ av logistik har speciella egenskaper då det ofta handlar om relativt små volymer som behöver förflyttas åt gången. Med ett nätverk av autonoma UAV:er är det möjligt att skapa ett flexibelt system som kan distribuera framförallt blodprodukter snabbt och kostnadseffektivt. Dessa behöver dock kunna flyga bortom visuell siktlinje och operatören behöver leda multipla farkoster för att konceptet ska bli realistiskt. Industrin har även förevisat möjligheten att använda stridstekniska RSTA UAV:er för att släppa blodpåsar vid en överflygning.

Autonoma logistikfarkoster kan även användas för att evakuera skadade. Obemannade markfordon förs in i exempelvis US Army som ska bära soldaternas utrustning och användas för att ladda batterierna i exempelvis soldaternas sensor- och radiosystem. Dyliga obemannade farkoster kan även användas för att evakuera skadade vid behov, se figur 4.15. Farkosterna styrs antingen av en enkel handkontroll, via brytpunktsnavigering eller genom att kontinuerligt följa en utvald person.

4.7 Utmaningar

Dagens obemannade plattformar är i hög grad fjärrstyrda där en operatör direkt styr plattformens rörelser alternativt att operatören anger en rutt som plattformen ska följa (brytpunktsnavigering). Om brytpunktsnavigering kombineras med automatiserad förmåga att upptäcka och väja för hinder och andra plattformar (*obstacle/collision avoidance*) benämns systemen ofta (framförallt på markarenan) som semi-autonoma. Sådana system reducerar avsevärt operatörens kognitiva belastning vilket även möjliggör att en operatör kan leda flera plattformar samtidigt. Den typen av tekniker finns idag framtagen för obemannade flygande och ytgående plattformar men har delvis pga regelmässiga begränsningar ännu inte införts operativt fullt ut. I Sverige utgör det nuvarande regelverket en begränsning som behöver ändras eller anpassas för att möjliggöra den fortsatta utvecklingen och ett framtida militärt införande av USV:er [173].

Algoritmer som kan beräkna en lämplig rutt och anpassad kör- och flygprofil som tar hänsyn till kommande *safe ride standards* och kända hot från stationära fientliga enheter och vapensystem bedöms även vara möjliga att utveckla på kort sikt. Uppgiften underlättas också om plattformen har förflyttat sig samma sträcka tidigare och kan använda sensorinformation från den föregående förflyttningen för sin navigering.

För markgående plattformar utgör automatiserad körning i svår terräng

en svårare utmaning. I [225] beskrivs en bedömd tidslinjal för utvecklingen av denna typ av tekniker. Dagens UGV:er bedöms kunna köra autonomt på förkarterade vägar under relativt gynnsamma väderförhållanden och i enklare terräng, dock inte i svårare snötäckt terräng. Men de kan än så länge framföras autonomt endast i relativt låg hastighet (10-15 km/h). Först omkring 2035 bedöms UGV:er helt autonomt kunna köra på mindre grus- och skogsvägar och i okänd och svår terräng, samt under typiska norrländska vinterförhållanden.

Tekniken finns för att till sjöss och i luften genomföra en obemannad evakuering av skadade till en angiven position genom brytpunktsnavigering kombinerat med förmågan att undvika hinder och kollisioner. En avancerad maskininlärningsalgoritm som kan anpassa utförandet av uppdraget i ett föränderligt scenario baserat på information från plattformens sensorer saknas dock. Det kan exempelvis gälla vilka undanmanövrer plattformen ska utföra vid en eventuell attack, eller hur den ska agera om den blir förföljd av en fiendlig plattform. I sådana scenarion krävs på kort sikt att en operatör leder plattformen.

För att automatiserad brytpunktsnavigering och även fullt autonoma plattformar ska kunna realiseras krävs ett tillförlitligt navigationssystem som med hög noggrannhet kan estimerar plattformens position och orientering även i GNSS-störda miljöer. Beroende på typ av plattform, miljö och övriga begränsningar så utgör detta en betydande utmaning som behöver adresseras i den fortsatta utvecklingen. Det gäller framförallt vid förflyttning i mörker om aktiva sensorer inte får användas. Det dimensionerande scenariot med en konflikt mot en högteknologisk motståndare med kvalificerad telekrigsförmåga ställer även krav på förbättrade kommunikationssystem med högre grad av robusthet i telestörda miljöer [67].

5 Biosensorer och drönartriage

Tidigt omhändertagande av skadade ökar möjligheten att överleva [269]. Om antalet skadade är större än sjukvårdsresurserna måste skadade prioriteras med så kallad triage.

För att kunna genomföra prioriteringen utgår man från synliga skador och vitalparametrar och sätter dem i en händelsekontext. Vid en masskadesituation innebär traumatriage att sjukvårdsutbildad personal genomför en primär bedömning av skadade (sällningstriage) för att prioritera vilka som ska slussas direkt till prioritering genom erfaren läkare (sorteringstriage) och vilka som kan gå till förbandsplats, försvarshälsa, eller vårdscentral [196]. I en hotfull miljö kan det betyda att sällningstriage ej kan påbörjas innan hotet är nerkämpat eller skydd finns tillgängligt (t.ex. CBRN skyddsutrustning) [19].

Möjligheten att kunna genomföra sällningstriage på distans och med autonomi kan rädda liv om ingen kvalificerad sjukvårdspersonal finns tillgänglig eller hotet är under kontroll. Distans i detta fall kan betyda avstånd mellan läkare och patient, avstånd mellan sensor och patient, och avstånd mellan kroppsburen sensor och inläsningsenhet. En UAV med sensorer som kan kommunicera med den skadade, som kan avläsa vitalparametrar (andningsfrekvens, puls, blodtryck och temperatur) på flera meters distans, och där en AI analyserar dessa kan genomföra sällningstriage och rapportera till sjuktransportledningen innan den första sjukvårdaren är på plats, se figur 5.1 och 5.2.

I detta kapitel ges en översikt över redan utvecklade eller kommande kroppsburna biosensorer och sensorer som kan mäta vitalparametrar på distans (som därmed kan vara kandidater för sensorer ombord triagedrönare).

5.1 Biosensorer

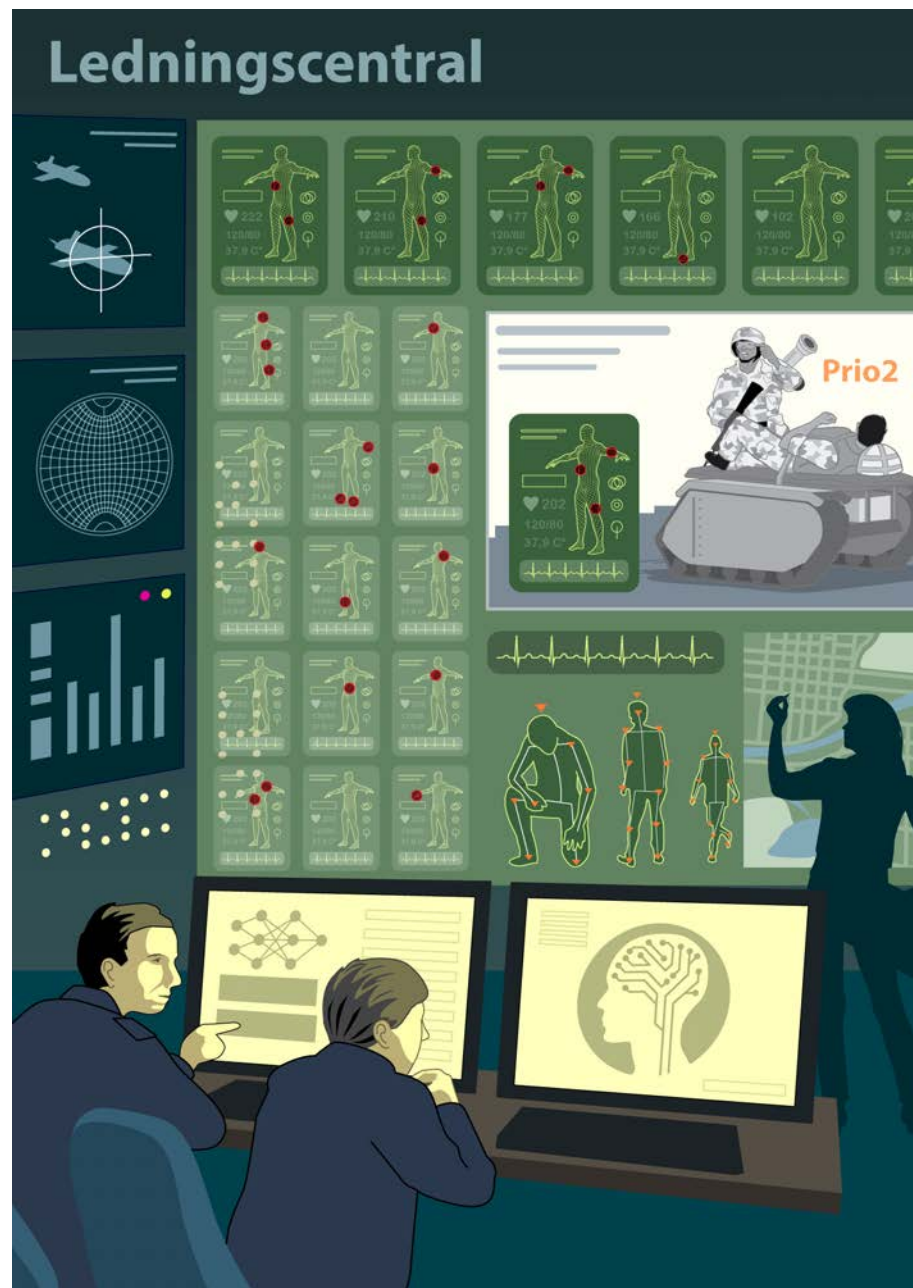
I detta avsnitt ges en kortfattad överblick av sensorer som kan ge medicinskt väsentlig information men där det inte alltid är självklart hur sambandet mellan mätvärdet och den medicinskt relevanta parametern ser ut. AI-metoder gör att fler typer av sensorer blir användbara och detta även i en vidare mängd av situationer. Där det tidigare var svårt att mäta den önskade parametern går det med maskininlärningsmetoder att få fram den relevanta informationen.

AI-stöd till sjukvården kräver indata av något slag. Det kan vara en person som matar in uppgifter eller sensorer som mäter på en person och utifrån mätdata så ger AI-systemet rekommendationer om vad som är lämplig prioritering och behandling.

AI-stöd är intressant både för hälsoövervakning och omhändertagande av skadade [29]. Hälsoövervakning kan ge en bild av personers fysiska och mentala status vilket gör att man på ett mer effektivt sätt kan använda sina personella resurser. Man får en bild av vad de fysiskt orkar med och deras mentala status som sammantaget visar vad de är i stånd att göra och när de behöver återhämtning.

AI förutsätter en dator som kan tas med och något sätt att kommunicera med den, både för att mata in data och för att ta del av resultat. Det kan vara en syresättningsmätare som man sätter på ett finger som anger blodets syresättning och varslar vid låga nivåer eller vid förändringar. Det kan vara en bärbar dator med pekskärm som dessutom kan, antingen trådlöst eller med kabel, koppla upp sig mot sensorer som den undersökta personen har på sig.

Maskininläring har förbättrat möjligheterna att göra härledda mätningar. Man mäter inte det man primärt är intresserad av utan en eller flera andra



Figur 5.1 – Informationen från biosensorer och triagedrönare flödar in till ledningscentralen där den aggregeras och kombineras med annan information som hjälper till att leda, beräkna och koordinera bl.a. stridsvärde, patientevakuering och förnödenhetsförsörjning (Grafik: Martin Ek).

egenskaper utifrån vilka man kan härleda det man är intresserad av. Man lägger till exempel en mobiltelefon på bröstskogen på en skadad och telefonen kan genom rörelse- och ljuddetektion avgöra om personen andas. Man kan inte direkt avgöra luftflödet till lungorna men rörelserna ger tillräckligt indikation.

Vitalparametrar är fysiologiska parametrar som är avgörande för en persons liv. Det finns ingen entydig definition av vilka de är men andning, syremättnad, puls, blodtryck, kroppstemperatur och vakenhetsgrad brukar räknas

in. Ibland räknas också blodsockernivå och smärta in som vitala parametrar. AI-stöd kan användas på två sätt, dels för att utifrån analys av värden på vitala parametrar stödja omhändertagandet, dels för att härleda värden på de vitala parametrarna utifrån andra mätta parametrar som indirekt ger information om de vitala parametrarna.

I begreppet biosensor ryms många olika sorters sensorer. En viktig distinktion är hur nära kroppen sensorn behöver vara vid mätning. En del sensorer kräver kontakt med huden medan andra kan mäta på avstånd från kroppen. Det finns också sensorer som är invasiva, det vill säga de mäter inuti kroppen. Invasiva sensorer är svåra att hantera under fältmässiga förhållanden om det inte handlar om implantat som inplanterats i förväg. En annan distinktion är om det är fysiska, kemiska eller biologiska parametrar som mäts. Fysiska är bland annat ljud, ljus, tryck, kemiska är till exempel blodsockernivå och giftiga substanser och biologiska kan vara virus och bakterier.

Sensorer som ska användas under fältmässiga förhållanden måste vara robusta och tåla utsatta miljöer och samtidigt ge tillräckligt korrekta mätvärden. De ska dessutom kunna användas av personer som har liten eller ingen medicinsk skolning.

Det är stor skillnad på sensorer som ska ge medicinskt relevant information om en specifik individ och sensorer som används för att ge statistisk information om fysiskt och mentalt hälsotillstånd hos en grupp individer. I det första fallet krävs mycket väl testade och väl fungerande sensorer för att man ska kunna lita på att de ger korrekt information. I det andra fallet kan det räcka att informationen är statistiskt korrekt och att man vet hur mycket och vilka fel som mätningarna ger. Även om hälsoinformation ges till en enskild individ så är det inte lika kritiskt med exakt korrekta värden som vid sjukvård.

Det finns sensorer som mäter fysikaliska egenskaper med stor noggrannhet som kanske har ett till synes svagt samband med väsentliga medicinska parametrar men där AI-system kan lära sig även vaga och otydliga samband och på så sätt ge väsentlig information både till den enskilde personen, till vårdande personal och till personal som leder insatsen i fält.

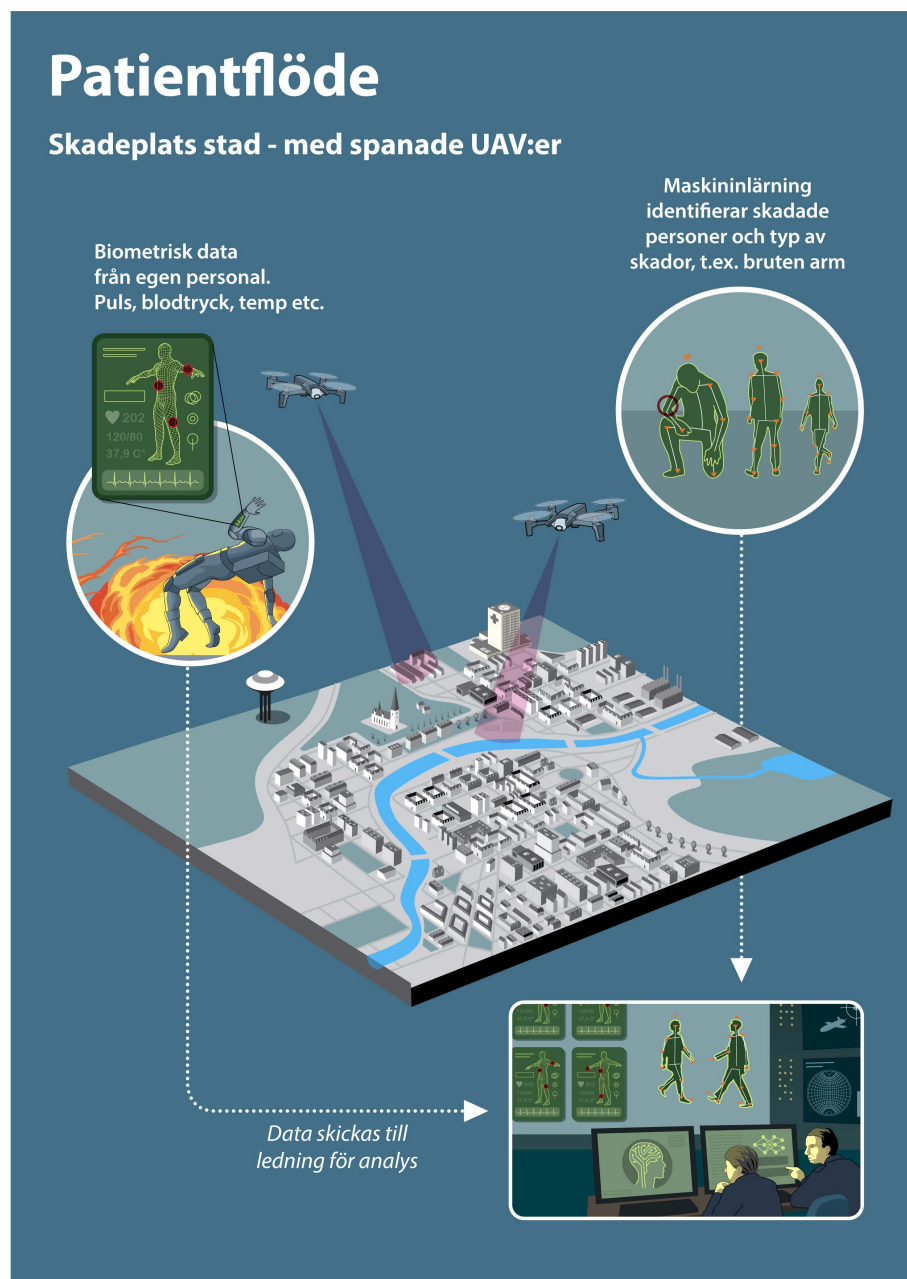
5.1.1 Kroppsburna biosensorer

Idag bär nästan alla smarta telefoner och andra bärbara enheter som dygnet runt kan samla hälsorelaterade data. Kroppsburen teknik eller *wearables* utformade som smarta klockor, smycken, kläder eller hjälmar spås bli ett av flera sätt som artificiell intelligens kommer att revolutionera hälso- och sjukvården [29, 259].

En klocka med inbyggda sensorer kan till exempel både mäta egenskaper hos bäraren och egenskaper i omgivning som har betydelse för hälsa. Den kan mäta väder, vind, ljud, tryck, temperatur och rörelser. Alla dessa har relevans för bärarens hälsa.

En vanlig mobiltelefon eller en träningsklocka innehåller ett antal sensorer som är intressanta i mening att de är små och mäter fysikaliska egenskaper noggrant. Typiskt finns där kamera, mikrofon, termometer, hygrometer, barometer, IR-sensor, kompass, gyroskop, accelerometer och ljussensor. Dessa sensorer kan eventuellt med lite anpassade sensorkonstruktioner användas för att mäta vitala parametrar. Det finns stor potential till utveckling av nya AI-system som använder data från dessa sensorer. Med kameran kan man ta bilder och filma och med modern AI-teknik går det att få fram diverse egenskaper som är medicinskt och hälsomässigt relevanta. Det finns dessutom möjlighet att utreda och få fram mycket mer information från bilder [284, 177, 147].

I Storbritannien har man utvecklat ett system som kallas Integrated



Figur 5.2 – Drönare spanar efter skadade och inhämtar vitalparametrar och annan relevant data från kroppsburna biosensorer. Informationen analyseras och aggregeras till en medicinsk lägesbild (Grafik: Martin Ek).

Systems Health Management (ISHM) för att övervaka allt från rutinvård till traumavård i strid [208, 261]. Soldaterna tillhandahåller kroppsburna enheter som mäter deras vitalparametrar såsom puls, blodtryck och andning samt även temperatur. Dessa mått kan sedan följas för att hålla ett öga på soldaternas stress- och trötthetsnivåer i fält och även användas till att fatta beslut om evakuering. På motsvarande sätt har företaget Equivital utvecklat kroppsburen teknik åt den amerikanska försvarsmakten för insamling av fysiologiska data [220]. Data från sensorerna som de amerikanska soldaterna bär över bröstet

kan ge indikationer på när ytterligare ansträngningar i kritiska situationer är möjliga respektive när soldaterna behöver vila. En utmaning är dock att utforma sensorer som inte stör och system som inte är alltför komplicerade så att användarna fortsätter att bära dem.

Det finns också ett stort utvecklingsområde som kallas intelligenta (eller smarta) kläder. Man syr in sensorer i kläder för att därigenom övervaka bärarens fysiologiska parametrar.

En plattform med sensorer som är extern, liten och mäter med kontakt mot kroppen har många fördelar och det finns en stor utvecklingspotential. De nya möjligheterna att utveckla analysmetoder genom att kombinera data från befintliga sensorer med AI-teknik är stora. Framför allt inom det AI-baserade bildanalysområdet har man nått stora framgångar. Precis som en läkare tittar på sin patient för att göra en bedömning av hälsan kan en automatiskt analyserad videosekvens på sikt säga en hel del om personens hälsa. Det är inte lika specifikt som uppmätta fysiologiska värden men väl en första bedömning.

5.1.2 Hälsoövervakning med biosensorer

Biosensorer för övervakning av militär personal i fält har potential att göra stor skillnad både för hälso- och sjukvård [87].

För sjukvård gäller det att diagnostisera och övervaka kritiska tillstånd tills den skadade kommer under kvalificerad sjukvård. Övervakningen är till nytta både för de som utan medicinskt ingående kunskaper ska ta hand om de skadade som för den medicinskt sakkunniga personal som senare ska behandla den skadade.

För hälsovård gäller det att övervaka parametrar som är kritiska för att personalen ska fungera fullt ut fysiskt och mentalt. Övervakningen är användbar både för den enskilde själv och för ledningen som har att se till att all personal används på bästa sätt.

Framstegen inom artificiell intelligens har gjort att signalbehandling tagit stora kliv framåt. Idag kan man få fram information från datasignaler som tidigare var mycket svårt och kanske omöjligt. Det finns flera exempel där AI-system ger bättre resultat än mänsklig bedömning. AI-system är lärande vilket betyder att systemet själv lär sig sambandet mellan in- och utdata. Det kan vara en fördel när systemet lär sig samband som inte kunnat uttryckas analytiskt men det är också en nackdel eftersom man inte vet och det är svårt att analysera och förstå hur systemet gör.

5.1.3 Kroppsburna blödningssensorer

Med mikrovågsmätningar har Strokefinder (Medfield Diagnostics AB) kunnat skilja patienter som fått stroke orsakad av blödning i hjärnan från strokepatienter som drabbats av blodpropp med syrebrist i hjärnan som följd (se figur 5.3). Tekniken fungerar även för personer som drabbats av traumatiska skallskador som är den vanligaste orsaken till dödsfall och handikapp bland unga människor i Sverige [170, 74].

Större blödningar i buk och bröstorg behöver oftast prioriterad vård för att undvika blödningschock. Beslutet om patienten ska opereras eller ej kan oftast först fattas efter diagnostik med ultraljud eller datortomografi. Med en kroppsburen sensor som mäter bioimpedans i bröstorg och abdomen har en forskargrupp vid Chalmers kunnat detektera större blödningar [31]. Den informationen kan användas för att prioritera patienter med misstänkt blödning.



Figur 5.3 – Med mikrovågssensorer i en hjälm har Strokefinder (Medfield Diagnostics AB) kunnat detektera stroke och blödningar med hög säkerhet utan behov av datortomografi (Grafik: Boid).

5.2 Drönartriage

Drönare kommer med stor sannolikhet att förändra hur triagering sker i masskadesituationer [137]. Eftersom drönare kan komma fram betydligt snabbare än ambulanspersonal så kan dessa användas för att påbörja sällningstriage och skapa en uppfattning av omgivningarna tidigare, se figur 5.2.

Fyra huvudsakliga medicinska användningsområden för drönare har identifierats [232]: folkhälsoövervakning, katastrofmedicin, telemedicin och medicinska transporter. De första två områden kan innefatta drönare som utnyttjas till att övervaka olycksplatser, analysera biokemiska risker samt för epidemiologisk forskning för att studera ändringar i miljön och spåra sjukdomsspridning. Telemedicin är det tredje området och innefattar diagnos och behandling av patienter på distans. Drönare kan användas till pre- och postoperativ bedömning av patienter samt till handledning på distans (telementoring): en erfaren kirurg kan på distans vara guide åt en mindre erfaren kirurg eller sjukvårdare. Nyttjandet av drönare för telekirurgi har prövats i simuleringar: en kirurg lyc-

kades i en studie på ett framgångsrikt sätt styra robotarmarna för att simulera kirurgiska ingrepp i en patient belägen i ett tält på 100 meters avstånd [116]. Det fjärde användningsområdet är att utnyttja drönare till olika former av transporter av vävnader, mediciner, utrustning (t.ex. defibrillatorer) men även för transport av patienter. Ett exempel är Drone Doctor som ska kunna genomföra en snabb triage på distans utifrån video som drönaren samlar in vid masskadesituationer. Metoder har även utvecklats för att sända hela grupper av autonoma drönare till en olycksplats för att samla in uppgifter om skador såsom antalet skadade, ålder, kön [110, 227].

5.3 Vitalparametrar för triage på distans

Triage avser prioritering för akut behandling, fortsatt behandling samt medicinsk evakuering av skadade efter en primär undersökning. I Försvarmakten används fem triageringsnivåer [203]:

- T1 (röd) – Livshotande skador. Omedelbar livräddande behandling och snarast MEDEVAC.
- T2 (gul) – Svåra, men ej akut livshotande skador. Stabiliserande behandling och MEDEVAC i närtid.
- T3 (grön) – Lättare skador. Första hjälpen och avtransport.
- Död (svart) – Dödförklarad av läkare, eller skador som är oförenliga med överlevnad (t.ex. dekapitation). Ingen behandling. Transport till avsedd plats. Skydd.
- Döende (blå) – Patienter som ej kan räddas med den tillgängliga vården. Används enbart när katastrofmedicinska behandlingsprinciper har aktiverats.

För att kunna genomföra triage används följande vitalparametrarna enligt METTS-T (medical emergency triage and treatment system trauma) [302]:

1. Fria andningsvägar.
2. Andningsfrekvens (med kapnograf) och syrgasmättnad (O_2 -saturation med pulsoximeter).
3. Hjärtfrekvens (med kardioskop) och blodtryck (automatisk noninvasiv blodtrycksmätning).
4. Vakenhetsgrad enligt RLS (reaction level scale) (subjektiv bedömning).

Att kunna mäta dessa parametrar på distans möjliggör en sällningstriagering utan att sensorn måste ha hudkontakt med den skadade. Har den skadade ingen kroppsburen teknik, eller om den är defekt, kan en mätning av hälsoparametrar på distans vara av betydelse. Dessa sensorer kan finnas på en triagedrönare i en masskadesituation.

I följande avsnitt beskrivs sensorutvecklingar som kan bidra med information enligt METTS-T [302]. Dessa bör kravställas för sensorer ombord triagedrönare.

Andningskontroll på distans

För att kunna mäta andningsfrekvens finns olika sensortyper tillgängliga. Det kan vara en optisk Microsoft Kinect[©] kamera (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) som mäter bröstorgans utformning över tid med en distans av en meter [117, 3]. Bröstkorgsrörelser kan även mätas med en rörlig 3D laser skanner [3]. En annan metod nyttjar ultraljud för att mäta bröstkorgsrörelser. Det fungerar hittills under optimala förhållanden upp till 15 cm distans [52].

Mest utvecklad för andningskontroll på distans är kanske termopletysmografi [215]. Genom en optisk analys av termiska förändringar framför mun och

näsa kan både andningsdjup och -frekvens mätas [43]. En sådan termooptisk andningsövervakning har framgångsrikt använts för övervakning av nyfödda barn [174].

Hjärtfrekvens på distans

Att mäta hjärtfrekvens bygger traditionellt på pulsmätning, där tryckförändringar i pulsådrar känns, och akustisk räkning (via stetoskop) av hjärtslag sker. Att kunna mäta pulsationer i genomblödningen av fria väl genomblödda hudytor (som t ex ansiktet) kräver en mycket hög känslighet på sensorerna. De tillgängliga sensorer bygger på flödesanalys som nyttjar Doppler-effekten, eller på temperaturpulsationsmätningar med värmekamerasystem.

Genom en mikrovågssensor i bilsätet har man kunnat mäta förarens hjärtfrekvens, där mätningen stämmer 90% överens med ett konventionellt kontaktbaserat system [28]. Genom att koppla samman mikrovågsdopplertechnik med ett optisk system (Microsoft Kinect[®]) har man kunnat minska mätfel som beror på rörelser [179].

Simultaninspelade färg- och nära-infraröd (NIR)- ansiktsvideos har vid kamerabaserad hjärtfrekvensmätning ökat robustheten mot fluktuerande belysning och huvudrörelser [184, 40, 143].

Med fotopletysmografi på distans (*remote photoplethysmography*, rPPG) kan man mäta hjärtfrekvens i ansiktsvideos [5]. Genom att komplettera rPPG med djuplärande neurala nätverk har man kunnat öka robustheten och sänka mätfelet till 6 slag/min [263].

En intressant utveckling bygger på distansmätning av puls-förflyttningstiden (*pulse transit time*, PTT) med mikrovågs- och optiska sensorer. Mikrovågssensorn identifierar hjärtslag genom reflekterade vågsignaler från bröstkorgen och bildsensorn identifierar pulsen i ansiktet. Genom att kunna beräkna tidsintervallet mellan hjärtslag och puls i ansiktet kan genomblödningen mätas [312]. Möjligtvis kan PTT nyttjas för att identifiera patienter i blödningsshock, där blodcirkulationen centraliseras och genomblödningen av hud och organ minskas.

O₂-saturation på distans

Mätning av syresättning, d.v.s. blodets syremättnad (O₂-saturation), bygger på skillnader i absorption av optiska våglängder mellan oxygenerat hemoglobin och desaturerat hemoglobin. Med en optisk RGB-färgkamera har man från 1,5 meter distans kunnat mäta syresättning i kontrollerad miljö [114]. Ett nyligen utvecklat multi-modalt optiskt system med inspelningar av olika våglängder och färgabsorptioner mäter samtidigt förändringar i blodflöden, syresättning och hemoglobinkoncentration i en distans från cirka 30cm [292].

Vakenhet på distans

Vakenhetsgraden bedöms enligt *reaction level scale* (RLS) grad 1 till 8:

1. Vaken – Orienterad, ingen svarslatens.
2. Slö/oklar – Kontaktbar vid lätt stimulering (tilltal, beröring).
3. Mycket slö/oklar – Kontaktbar vid kraftig stimulering.
4. Medvetlös – Lokaliserar smärta utan att avvärja.
5. Medvetlös – Undandragande rörelser vid smärtstimuli.
6. Medvetlös – Stereotypa böjrörelser vid smärtstimuli.
7. Medvetlös – Stereotypa sträckrörelser vid smärtstimuli.
8. Medvetlös – Ingen smärteaktion.

För att bedöma vakenhet kan följande antaganden prövas med sensorer:

- En vaken patient svarar vid tilltal.
- En patient med sänkt medvetandegrad är kontaktbar vid smärtstimulus.
- En djupt medvetslös patient har specifika rörelser vid smärtstimuli.

Med en högtalar- och mikrofonfunktion kan triagedrönare kommunicera med den skadade. Svarar den direkt är medvetandegraden RLS 1. Svarar den ej är medvetandegraden RLS 3 eller högre.

Genom smärtstimulering med t.ex. en het laserstråle kan medvetslösheten graderas i RLS 4 till RLS 8. Genom en videoinspelning av reaktion på stimuli kan smärtreaktionen omsättas i RLS-grader. En sådan analys skulle kunna genomföras med stöd av artificiell intelligens.



Figur 5.4 – UAV möjliggör att söka efter skadade och triagera dessa i hotfull miljö med god säkerhetsmarginal för sjukvårdspersonalen (Foto: Kristina Scott / Försvarsmedicincentrum).

5.4 Utmaningar

Det senaste decenniet har biosensorer blivit en naturlig del av vardagen, där mobiltelefoner, klockor och kameror övervakar vår hälsostatus och genererar stora datamängder. Den ökande miniatyriseringen möjliggör sensorer som vävs in i uniformen eller som sitter som ett plåster på huden. För att kunna nyttja den datamängden på ett meningsfullt sätt krävs det djuplärande AI-teknik. Aggregerade hälsodata kan utgöra ett värdefullt underlag till den medicinska lägesrapporten.

Drönartriage förutsätter sensorer som kan inhämta vitalparametrar på distans. Så fort drönare kommunicerar med skadade eller deras kroppsburna sensorer utgör drönare en säkerhetsrisk, då den skadades position kan röjas och sjuktransportresurser på väg kan överfallas. Många av dessa sensorer är i utveckling och kommer att kunna ingå i sensorbanken för en triagedrönare. Miniatyrisering och mätning på distans är fortfarande utmaningar, men de senaste forskningsrönen är lovande och talar för utvecklingen av triagedrönare i en nära framtid.

6 Robotassisterad sjukvård

Traumaomhändertagandet följer en standardiserad procedur, som med lätthet kan formuleras i ett dataprogram [16]. Då robotar med AI-teknik är bättre än människan i att följa riktlinjer skulle robotassisterad sjukvård kunna öka behandlingskvaliteten vid traumaomhändertagande; men därmed inte sagt att robotassisterad sjukvård alltid är bättre i alla lägen [282]. I första kapitlet konstaterade vi att personalen är Försvarmaktens dyraste resurs och att tillgång till legitimerad specialiserad sjukvårdspersonal inte alltid är given i krig. Robotiska system möjliggör att för människan farligare uppgifter kan genomföras av robotar. Exempel är Försvarmaktens *explosive ordnance disposal* (EOD)-robotar, där fjärrstyrda robotar tar över farliga desarmeringsuppgifter och minskar risker och stress för EOD-operatören.

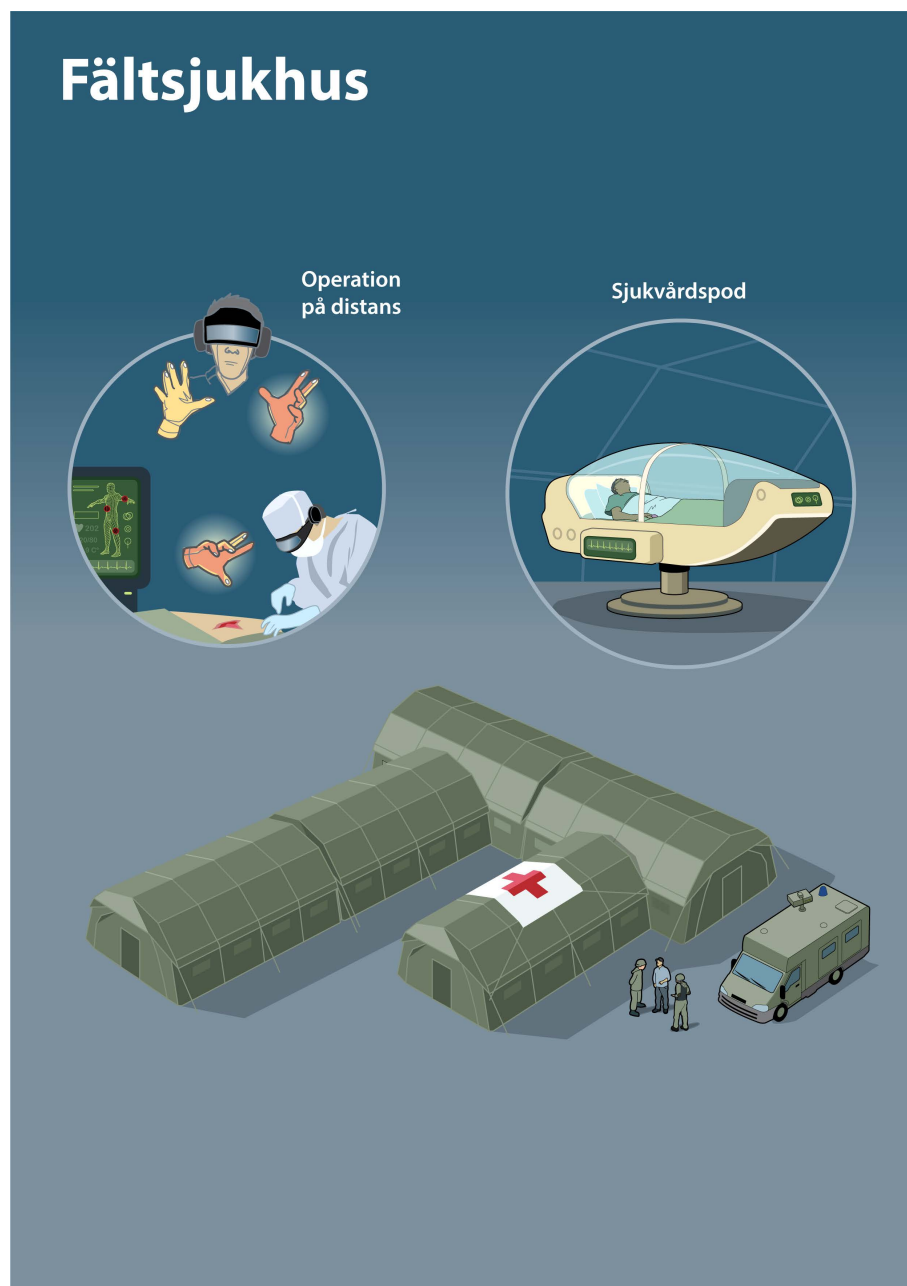
Då varje steg i proceduren för traumaomhändertagandet är kopplat till en aktivitet, måste en sjukvårdsrobot kunna utföra en rad aktiviteter för att kunna verka fullt ut i traumaomhändertagandet. Kapitlet sammanfattar den pågående utvecklingen inom en robotassisterad sjukvård.

6.1 Robotkirurgi

Autonom robotkirurgi har potentialen att radikalt förändra det försvarsmedicinska arbetet på slagfältet [126]. Robotkirurgiska system kan som illustrerad i figur 6.1 styras på distans alternativt helt "obemannat" även om de idag kräver en läkare som övervakar vad roboten gör. Systemen kan bli särskilt viktiga på isolerade platser där kirurger inte finns tillgängliga. En klar majoritet (86%) av alla dödsfall på slagfältet inträffar inom 30 minuter efter skadetillfället [178]. Ett system med mer eller mindre automatiserad robotstödd kirurgi på plats skulle därför fylla ett viktigt behov. Det mest kända systemet är da Vinci-systemet som ursprungligen utvecklades i USA med avsikten att användas på distans för traumakirurgi i militära sammanhang [104]. Idag hittar man dock da Vinci-systemet i operationssalar på civila sjukhus runtom i världen. I detta system är det läkaren som styr och övervakar robotsystemets armar från en konsol i operationssalen. Helt obemannade kirurgiska lösningar förs dock fram som tänkbara framtidsvisioner. I ett känt fall vid Boston Children's Hospital i USA har en robot utvecklats som självständigt kan navigera sig fram till hjärtfel hos levande grisar [274]. Roboten kan på egen hand hitta millimetersmå läckor i klaffarna utan att skada hjärtat. När den väl nått fram tar en kirurg över styrningen och kan täppa till läckorna. I detta fall var patienten inte en människa utan en gris, men undersökningar visar att robotar med varierande grad av autonomi kan mäta sig med kirurger när det gäller specifika uppgifter såsom att identifiera skador, suturera och avlägsna tumörer.

Autonoma kirurgiska tillämpningar ligger en bra bit in i framtiden men det görs satsningar på autonoma försvarsmedicinska system som inte är renodlat kirurgiska för t.ex. obemannade farkoster. US Army undersöker användningen av robotik för att stödja det försvarsmedicinska arbetet under skadeevakuering [79]. Forskningen syftar till att utforska hur diagnostik och behandling kan automatiseras och integreras in i obemannade fordon.

Forskningsprojektet TRAuma Care In a Rucksack (TRACIR) som leds av University of Pittsburgh syftar till att utveckla ett autonomt robotstyrt hjärt- och lungräddningssystem i bärbar storlek (den ska rymmas i en ryggsäck) ämnad för användning vid evakuering av sårade soldater med obemannade fordon [217]. TRACIR utgår från observationen att blödning är den primära orsaken



Figur 6.1 – Om kirurgen saknas på fältsjukhuset kan robotkirurgi möjliggöra kirurgiska ingrepp på distans. Med robotassisterad behandling i en sjukvårdspod kan vissa behandlingar genomföras utan läkare på plats (Grafik: Martin Ek).

till undvikbara dödsfall på slagfältet. Genom att tillämpa maskininlärning på stora datamängder av prehospitla traumafall från Pittsburghs-området tillsammans med principer om hemodynamisk övervakning (studiet av den fysiologiska funktionen av blodcirkulationen och hjärtfunktion) skall projektet utveckla ett automatiserat system för hjärt- och lungräddning.

I bjärt kontrast till skrymmande robotkirurgiska system som da Vinci bygger en annan framtidsvision på att kirurger i stället för att använda en robot

till flera olika uppgifter kommer utnyttja svärmar av nanobotar [79, 113]. En nanobot är en mycket liten robot som kan utföra uppgifter på nanonivå såsom att förflytta molekyler med stor precision. Idén bygger på att ett mycket stort antal små robotar ska fås att samarbeta för att lösa uppgifter som skulle vara svåra för ett enskilt system. Förhoppningen är att kirurgen i framtiden ska kunna styra nanobotarna genom mänskliga organ och blodkärl för att t.ex. avlägsna blodproppar eller leverera en behandling på cellnivå.

6.2 Robotassisterad venkateterisering

En venkateter består av en tunn ihålig stålkanyl (rör) som i sin tur är införd i en böjlig plastslang (själva katetern). Vid användandet sticks stålkanylen genom huden och in i en ven varefter kanylen dras ut medan katetern sitter kvar i venen och kan användas till att ge medicin eller dropp direkt i blodet. Ett mycket stort antal intravenösa kateteriseringar görs dagligen och en stor andel (28%) av dessa misslyckas [30]. Dessa misslyckanden orsakar skador och smärta och kan också leda till permanent ärrbildning och nervskador. Försök har därför gjorts för att utveckla robotsystem som utför den intravenösa kateteriseringen säkrare och mindre smärtsamt. Små vener och vener under fettlager kan vara mycket svåra att se och känna. Men eftersom syrefattigt blod absorberar ljus mer än omliggande vävnad kan infrarött ljus nyttjas till att upptäcka vener. Utmaningen är att få robotar att tolka bilder med det infraröda ljuset och identifiera lämpliga punkter där katetern kan sättas. En annan utmaning är att få roboten att förstå hur katetern ska föras in genom huden och vidare till venen (ev. vinkel, girning, rullning osv). Algoritmer är under utveckling för att möta dessa utmaningar med målsättningen att kunna använda sådana robotar i avlägsna eller fientliga miljöer där kvalificerad sjukvårdspersonal saknas [30]. En handhållen halvautomatisk robot har prövats och visats kunna stödja helt otränade försökspersoner i att sätta venkatetrar långt bättre med hjälp av roboten än på egen hand [41].

6.3 Robotisk läkemedeladministration

Läkemedelsadministrerande robotar ger exakt den mängd narkosläkemedel som behövs och är huvudsakligen *closed loop*-system [123]. Ett så kallat closed loop-system består huvudsakligen av tre element:

1. Ett centralt operativsystem som innehåller algoritmer och procedurer.
2. En eller flera variabler för målstyrning.
3. Ett eller flera system för administration av läkemedel.

Dessa tre element hänger ihop genom feedbackflöden. Systemet kan alltså anpassa sig kontinuerligt för att nå målet utan behov av manuell styrning.

Flera closed loop-system har utvecklats för läkemedelstitrering för patienter i narkos. Hittills har closed loop-system utvecklats för kontroll av narkosdjup [272, 193] och muskelrelaxation [65] då det saknas relevanta monitoreringsvariabler för smärta vid medvetlöshet eller i narkos. Flera forskare har nyttjat hemodynamiska variabler som arteriellt blodtryck och hjärtfrekvens för att kunna mäta smärta [103, 121].

En av de mest mogna farmakologiska robotarna, McSleepy, utvecklades 2010 med ett grafiskt-numeriskt gränssnitt och operativsystem (LabVIEW, National Instruments, TX, USA). För målstyrningen användes en BIS Vista monitor (BIS Vista™, Aspect Medical Systems, MA, USA) och en monitor för vitalparametrar (CASMED 740, CAS Medical Systems Inc., Branford, CT, USA). Som läkemedelsadministrationssystem användes infusionpumpar (Gra-

seby 3400, Graseby Medical, UK). I en randomiserad kontrollerad studie med 180 patienter har McSleepy varit bättre avseende smärtkontroll och vitalparametrar än narkospersonalen [121].

6.4 Robotisk säker luftväg

En säker luftväg är – efter kompression av katastrofblödningar – prioritet nummer ett vid omhändertagandet av traumapatienter [16]. Den mest säkra luftvägen på en svårt skadad patient är en endotrakeal tubus, dvs. en plastslang som läggs genom munnen och svalget in i luftstrupen och som därmed säkerställer en fri luftväg. Då intubationen är en av de kritiska momenten vid akut omhändertagande i fält, kan robotiska och automatiserade intubationer möjliggöra en säker luftväg även om narkospersonalen inte är på plats än. Genom att koppla ett videolaryngoskop till en robotarm som styrs av en narkosläkare på distans har man i Kanada redan för 10 år sedan framgångsrikt kunnat intubera patienter under optimala förhållanden [122]. Det har lett till en robotisk produktutveckling kallad Kepler Intubation System (KIS) [182]. En kinesisk robotisk lösning publicerades 2018 där endotrakeala intubationer genomfördes på en stordjursmodell [293].

För att inte ”drunkna” i lungornas egen sekretion, blod eller aspirat måste en endotrakeal tubus tömmas på sekret och vätska. I Singapore har man börjat utveckla robotiska lösningar, där en robotisk autonom sugslang rensar tuben hos intensivvårdspatienter utan behov av personal på plats [58].

Samtliga robotiska utvecklingar för intubation har genomförts som fjärrstyrda lösningar med människan i loop. Som vi har sett inom bilindustrin är steget från fjärrstyrd robotik till autonom robotik tekniskt möjligt. Men det saknas fortfarande acceptans och tillit till robotassisterade sjukvårdslösningar. Och det gäller speciellt när vi känner oss som mest sårbara och en robotarm är på väg att trycka in en slang i vår strupe.

6.5 Robotisk kraniotomi

En av de farligaste skadorna efter trauma är blödningar i skallen (intrakraniella blödningar), som ökar trycket i hjärnan och kan leda till hjärndöd eller nedsett kognitiv förmåga. Behandlingen måste ske utan fördröjning och omfattar oftast en avlastning av blödningen och således trycket genom borrar genom skallbenet.

Genom att nyttja robotisk frästeknik från tillverkningsindustrin har robotiska skallbörningar med den så kallade Craniobot utvecklats [211, 105].

6.6 Exoskelett för avsutten förflyttning av skadad

Att förflytta en skadad soldat i full stridsutrustning tar kraft och resurser från stridsuppgiften. Om ingen sjuktransport finns tillgänglig måste livräddaren förflytta sin skadade kamrat i skydd och sedan till närmaste skadeuppsamlingsplats. För att orka detta utan att tära på det egna stridsvärdet kan ett exoskelett bidra till den robotiskt assisterade kraften som behövs för att kunna förflytta den skadade kamraten [194]. Om den skadade soldaten har ett avancerat exoskelett i stridsutrustningen skulle exoskelettet autonomt kunna förflytta den skadade i skydd utan behov av ytterligare stöd. Exempel på exoskelettutvecklingen presenteras i tabell 6.1.

Tabell 6.1 – Exoskelettutvecklingar

Bild	Namn och Beskrivning	Utvecklande organisation
	RoboGlove[©] / Ironhand[©] : 2020 premierade NASA armexosketten Ironhand [©] med <i>Invention and Software of the Year Award</i> . Den ligger till grund för RoboGlove [©] , en vidareutveckling tillsammans med General Motors. Den bygger på en handske som förstärker handens funktionella anatomi med robotisk kraft [197, 4].	General Motors (USA), Bioservo (Sverige)
	Onyx[©] : Exosketten Onyx [©] ökar mobilitet och uthållighet i nedre kroppshalvan. Genom att den minskar arbetet vid gång och klättring hjälper Onyx [©] soldater att kunna gå extra länge även om man måste bära med sig en större last [171].	Lockheed Martin (USA)
	XOS2[©] : Exosketten XOS2 [©] använder hydraulik för att lyfta vikter så att det känns många gånger lättare. Vikter som är tyngre än 90 kg kan lyftas och bäras över en längre tid. Den höga rörligheten möjliggör att användaren kan gå, springa, gå i trappor och spela fotboll [171].	Raytheon Sarcos (USA)
	Human Universal Load Carrier (HULC[©]) : Den universala lastbäraren (HULC [©]) är ett exoskelett för den avsuttna soldaten. Genom hydraulisk kraftöverföring möjliggör HULC [©] tunga lyft upp till 91 kg med minimal belastning. Systemet är avsett att minska risken för muskuloskeletala skador. Viktbelastningen leds vidare till marken genom exoskelettens tillhörande skor [172].	Lockheed Martin (USA)
	Wyss Exosuit[©] : Det mjuka, flerledade exoskelettet består av texila komponenter med kraftöverföring från bäcken, höft, lårben och vad. I motsats till hårda exoskelett möjliggör Wyss Exosuit [©] minimala rörelsebegränsningar. Den är anpassningsbar till soldatens egna gångmönster och kan automatisk tillföra rörelseenergi vid behov [151].	Wyss Institute (USA)

Fortsättning på nästa sida

Tabell 6.1 – Fortsättning från förra sidan

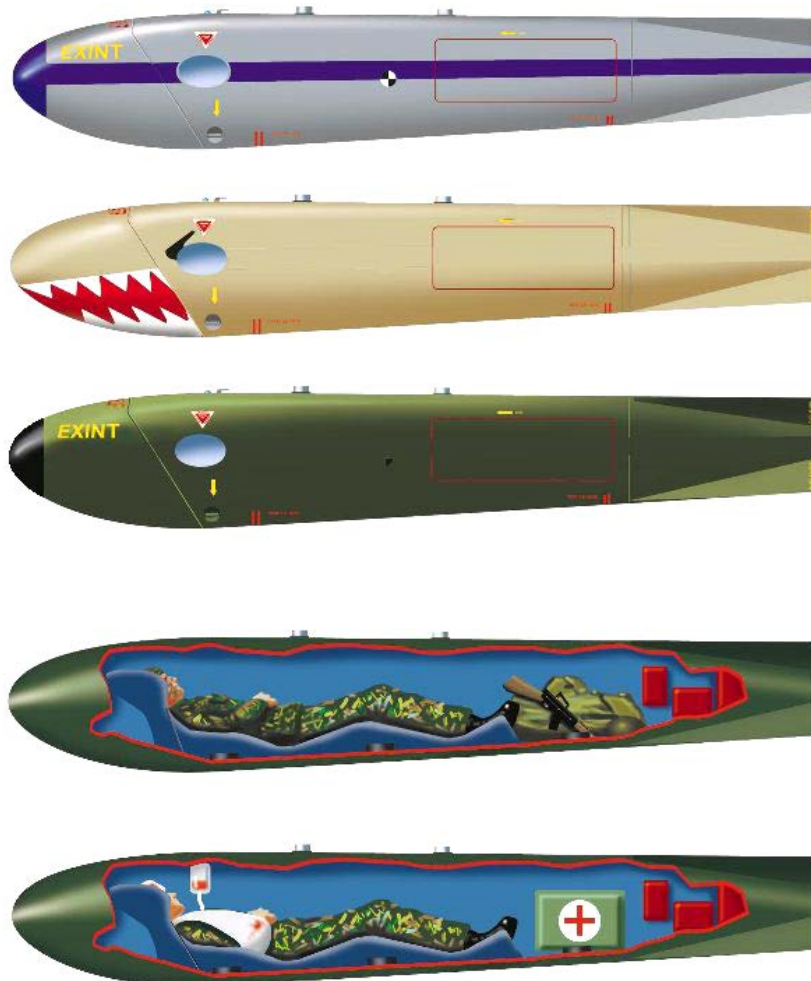
Bild	Namn och Beskrivning	Utvecklande organisation
	Operational Exoskeleton (OX[©]): Australiens operationella exoskelett OX [©] är ett passivt, mjukt exoskelett för belastningsminskning av den avsuttna soldaten. OX [©] använder två Bowden-kablar, som normalt används för gasreglage i lätta flygplan och cykelbromsar, för att leda vikten från soldatens 85 kg ryggsäck direkt till marken. Med bara 3 kg egen vikt är OX en av de lättaste exoskelett som har utvecklats [59].	DSTO (Australien)
	(X1[©]): NASA:s exoskelett X1 [©] har utvecklats som träningsredskap ombord på rymdstationer och för framtida långtidsmissioner till asteroider eller mars. Utan att ta värdefullt utrymme eller viktbelastning kan X1 [©] stödja träning och övning i tyngdlöshet i preventivmedicinsk syfte. Samtidigt stödjer exoskeletten rymdledaren på jorden med mätning och insamling av hälsodata som möjliggör en i realtid uppdaterad hälsostatus [198].	NASA (USA)

6.7 RAS-sjukvårdskapsel

Även om robotisk sjukvård finns på plats kommer bara en evakuering från stridsfältsnivån kunna bidra till skydd och till ett omhändertagande med ut hållig intensivvård. Att bygga robotik i en sjukvårdsevakueringskapsel skulle kunna möjliggöra kvalificerad robotisk sjukvård i väntan på avtransport eller under transporten.

Sedan andra världskriget har GRIER (Ground Rescue Insertion Extraction Resupply)-kapslar utvecklats som skulle möjliggöra en liggande transport oberoende på plattform. Extraktion/insertions (EXINT)-kapseln i figur 6.2 utvecklades i slutet av 90-talet av det brittiska företaget AVPRO (London, U.K. Ltd), var ca 4 meter och rymde en person med utrustning [57]. Den kunde kopplas till BAe Sea Harrier flygplan och Boeing AH-64 Apache helikoptrar (figur 6.3) [81, 82]. EXINT-kapseln utvecklades i samband med operativa erfarenheter under Gulfkrigen och Balkankriget där extraktion av kraschade piloter och dold infiltration med specialstyrkor skulle förbättras. Kapseln hade 100% syrgas och ett värmesystem, så att den kunde transporteras på höga höjder. Även om det har genomförts prov och försök har det aldrig flugits med människor i EXINT-kapseln.

Genom integration av biosensorer som har beskrivits i kapitel 5 och robotiska autonoma sjukvårdslösningar i en evakueringskapsel skulle en skadad kunna få kvalificerad behandling redan under pågående evakuering. Detta förutsätter utveckling och miniaturisering av biosensorer och sjukvårdsrobotik.



Figur 6.2 – EXINT-kapseln (AVPRO, London, U.K. Ltd) som utvecklades på 1990-talet skulle bland annat möjliggöra okvalificerad sjuktransport (CASE-VAC) i en skyddad kapsel och kunde kopplas till olika plattformar (Foto: Think Defence, UK, CC BY-SA 4.0).



Figur 6.3 – EXINT-kapseln (AVPRO, London, U.K. Ltd) vid prov och försök kopplat till en BAe Sea Harrier och en Boeing AH-64 Apache helikopter (Foto: Think Defence, UK, CC BY-SA 4.0).

6.8 Utmaningar

Robotiskt assisterade kirurgiska ingrepp används redan nu med stor framgång. Hittills är fortfarande läkaren den som styr robotiken, och steget till autonoma robotiska ingrepp är beroende på AI-teknikens motoriska inlärningsförmåga.

För att en robot och en människa ska kunna samarbeta på ett effektivt sätt krävs det tillit [34]. Det gäller speciellt för relationen mellan vårdgivare och patient. Förutsättningarna för tillit skiljer sig individuellt, dessutom beror tillit på tre egenskaper hos motparten man ska lita på [180]:

- Förmåga – förmåga och kompetens hos motparten relaterat till uppgift.
- Välvilja – i vilken omfattning man tror att motparten vill göra gott.
- Integritet – om motparten följer accepterade principer.

Beroende på hur motparten beter sig gentemot oss känner vi tillit eller bristande tillit gentemot denne. Tillit vittrar alltså sönder snabbare än det skapas; människan tenderar nämligen att ta det tillitsbyggande arbetet för givet och endast uppmärksamma bristande tillit [161]. Att skapa robotiska system som inte bara är tekniskt överlägsna men som en mänsklig operatör eller patient kommer att lita på med sin hälsa och ytterst sitt liv som insats, är kanske robotikens största utmaning [140].

Finns ingen läkare på plats och robotassisterad sjukvård är det enda alternativet kommer robotiska sjukvårdsapplikationer att vara eftertraktade i fält. Att sammanfoga de enskilt utvecklade robotiska förmågorna i en enda robot är dock en utmaning. För att säkerställa den långsiktiga sjukvårdsorganisationens utveckling har flera försvarsmedicinska organisationer i världen pågående robotiska utvecklingsprogram.

7 Data

För att lära upp ett AI-system krävs ofta en stor mängd data i form av ett referensbibliotek att träna på, se avsnitt 2.2.1. Vilken typ av data som behövs beror på vilka frågeställningar AI-systemet förväntas svara på. De tillämpningar som beaktats i denna rapport är framförallt

- Triage.
- Sjukvård och -ledning.
- Förplanering.
- Förberedelser och träning.

De två översta tillämpningarna kan sägas vara akuta med enskilda patienter i fokus. Detta kräver möjlighet att mäta fysiologisk status på individen med hjälp av t.ex. biosensorer (EKG, EEG, blodvärden, röntgen etc.), se kapitel 5. Utöver denna typ av data krävs även en modell som kopplar uppmätta värden med dels en diagnos och dels en behandlingsplan samt t.ex. ett troligt utfall för triage. De två senare tillämpningarna, förplanering och förberedelser, är däremot inte specificerade till en individ. Istället för unika fysiologiska data behövs i dessa frågor statistik med sannolikheter för olika typer av händelser, skador och vårdbehov. Värdefullt är i detta fall även modeller som kan prediktera hur skadebilden kan se ut i antal och typ av skador vid ett antal troliga framtida scenarier. Goda underlag för en sådan analys är statistikdatabaser med stridsskador samt simuleringsmodeller för att prediktera skada givet specifika scenarier där både hot och skyddsprestanda är kända eller kan varieras.

I kapitel 4 om autonoma plattformar och kapitel 6 om robotassisterad sjukvård ges många exempel på system som använder sig av data om allt från terrängförhållanden och viktmotstånd till vitalparametrar och färgbilder.

7.1 Data om verkan och skador

Det finns, som tidigare nämnts, många olika sorters data som beroende på tillämpning går att använda för att träna ett AI-system. Många av dessa datatyper är sådana som används inom det civila. Försvarsmedicin har dock andra utmaningar och i följande avsnitt kommer vi därför att djupdyka i olika sorters databaser och standarder som finns om vapenverkan och skador.

7.1.1 Statistikdatabaser

Statistiska data på skadade och döda från historiska och nutida konflikter finns till del tillgängligt i litteraturen. Kända satsningar där man samlade in data aktivt är t.ex. den så kallade Bougainville-kampanjen under andra världskriget [48] och WDMET (Wound Data and Munitions Effectiveness Team) från Vietnamkonflikten. Dessa innehåller data insamlad under begränsade slag eller operationer och använder olika indelningar beroende på var och när data samlades in. Bougainville är känd som en förhållandevis komplett databas. WDMET samlade under 1965-67 in skadedata från Vietnamkonflikten och anses vara en omfattande databas även om endast ungefär 4% av alla skadade eller döda täcks av datasamlingen [38]. Data från WDMET har i efterhand klassificerats enligt Abbreviated Injury Scale (AIS), se följande avsnitt.

Vanligen, t.ex. i databasen *Wound ballistics* [48], delas statistiken upp i döda i strid (killed in action, KIA), de som dött på stridsfältet utan vårdinsats samt skadade i strid (wounded in action, WIA) vilka i sin tur delas in i dog av

skada (died of wounds, DOW) samt överlevde skada (survived wounds, SW). Av de som överlevde skadan finns dokumenterat om de återvände till striden efter vård vid olika nivåer av sjukvårdskedjan på plats alternativt om de blev evakuerade till USA för vård. I Wound ballistics finns även data om olika vapensystem (kulspruta, gevär, granatkastare, handgranat, och artilleri) verkan, dvs data om antal skadade och döda, samt inverkan av skyddsställning, dvs. om den träffade varit stående eller liggandes i skydd vid beskjutningstillfället.

De data som publiceras i böcker och artiklar är dock presenterade på en aggregerad nivå där detaljer på individnivå saknas.

Under 2000-talet började länder som USA och Storbritannien samla data på ett mer systematiserat sätt för att få underlag för att förbättra värden vid krigskonflikter. Detta resulterade i The Joint Theater Trauma Registry [60]. Storbritannien har en egen version, The Joint Theater Trauma Registry UK. Även Kanada har en databas kallad CASPEAN (Casualty Protective Equipment Analysis) vilken förvaltas av DRDC¹ med stöd av den kanadensiska försvarsmakten. Även flera mindre länder samlar statistik på sina förluster (skadade och döda) i utlandsmissioner (se Danmark [131] eller Norge [24]). För att underlätta för små länder som inte har så många förluster att bilda statistik av, har det även startats en NATO-gemensam traumadatabas [20]. Sverige är dock inte aktivt i det arbetet.

Dessa databaser är i sin helhet sekretessbelagda och svåra att få tillgång till. Det finns dock öppna tidsskriftspublicationer där ett typfall beskrivs eller en sammanställning av en viss typ av skador presenteras, t.ex. hur antalet svåra skador har utvecklats under en pågående konflikt [148].

7.1.2 Skadeklassificering

För att klassificera skador i t.ex. databaser finns olika system. ICD-9-CM² är en standard som används inom sjukvård och försäkringsinstitut i framförallt USA men även av WHO.

För klassificering av trauma finns ett skadesystem kallat AIS (Abbreviated Injury Scale) vilken administreras och uppdateras av organisationen Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) [13]. AIS startades av den civila transportindustrin i USA och är en skadeklassificering som anger vilka organ som är skadade, typ av skada samt även en gradering av hur allvarlig skadan är ur ett överlevnadsperspektiv. Även om AIS initialt var riktad mot civila olyckor har skadekoderna utvecklats för att inkludera flera typer av skador och idag används det även militärt för typiska stridsrelaterade skador. Skadekoderna kan översättas från andra klassificeringssystem som t.ex. ICD-9-CM. Den senaste versionen är AIS 2015 och den är konverterbar till äldre versioner tillbaka till AIS 98.

Baserat på AIS-värden kan även överlevnadssannolikheten beräknas i form av Injury severity score (ISS). Genom att ta det högsta AIS värdet per kroppsdel och summera kvadraten av de tre högsta AIS-värdena fås ett ISS-värde som motsvarar en sannolikhet för överlevnad. Skalan går från 0 till 75 där 75 i princip är – överlever ej.

7.1.3 Skademekanismer

För en medicinsk enhet som agerar i ett krigsområde krävs kunskap om både stridsrelaterade skador och vanliga sjukdomar eller olycksfall. Detta avsnitt

¹Defence Research and Development Canada, Kanadas motsvarighet till FOI

²ICD-9-CM är en förkortning av *The International Classification of Diseases, ninth revision, clinical modification*.

fokuserar dock endast på de stridsrelaterade skadorna. En typisk stridsrelaterad skada skiljer sig från en civil skada genom att den kan inkludera flera olika skademekanismer. Detta är ovanligt i civila sammanhang om man bortser från våldsdåd eller terrordåd. Vid en explosion kan samtliga skademekanismer inträffa och dessa är indelade enligt följande:

- Primära skador orsakas av tryckökningen och stötvågen och påverkar främst luftfyllda organ som lungor, andningsvägar och inre organ.
- Sekundära skador orsakas av penetrerande föremål som splitter (från stridsdelen eller kringliggande föremål som slits sönder) eller finkaliberprojektiler.
- Tertiära skador orsakas av tryckimpulsen vilken kan kasta iväg människor eller tyngre föremål vilka orsakar accelerationsvåld samt trubbigt våld.
- Kvartära skador orsakas av de varma och eventuell toxiska gaserna som orsakas av detonationen.

En enskild händelse kan ge upphov till samtliga skademekanismer samtidigt eller till en eller fler i olika kombinationer. Historiskt har penetrationsskadorna dominerat stridsskadeanalyserna, framförallt inom infanteriet, då splitter har en betydligt längre räckvidd än stötvågen eller detonationsgaserna och är den vanligaste stridsrelaterade skadan. För andra grupper kan dock andra skademekanismer vara dominerande, för flyget har t.ex. accelerationsskador och trubbigt våld varit frekvent vid krasch och för stridsvagnsburen trupp har brand i fordon orsakat en stor andel skador [37].

7.1.4 Sårbarhetsmodeller

Inom försvarsindustri och myndigheter används olika verktyg för att värdera effekter av vapenverkan i olika mål, bl.a. människan. Detta görs både för att estimerar egen verkan och för att studera sårbarheten i egen materiel eller personal. Av tradition finns ett flertal modeller för att studera sannolikheten för att en individ är försatt ur stridbart skick. Exempel på detta är 80 J-kriteriet [231], Sperrazza-Kokinakis [153], Avals penetrationsvolymkriterium [12] samt Computerman [235]. För värdering av sårbarheten för individer med skadebild och överlevnadssannolikhet är det mer begränsat men ett antal modeller finns internationellt. Majoriteten av dessa använder sig av skadeklassificeringssystemet AIS.

Den mest kända modellen är Computerman från USA vilken redan när den togs fram under 1990-talet inkluderade utvärdering enligt AIS. Computerman är begränsad till penetrationsskador, dvs. den tar inte hänsyn till vare sig trubbigt våld, stötvågsbelastning eller rök- och gasförgiftning vilka samtliga kan vara vanligt förekommande i strid, speciellt i trängre utrymmen som fordon eller fartyg.

Under åren har Computerman-modellen vidareutvecklats och AIS koderna har uppdaterats till senaste versionen av AIS vilken bättre klassificerar penetrationsskador och militära skador. Dagens version av Computerman är inkorporerad i ett större paraplyprogram Operational Requirement-based Casualty Assessment (ORCA) Model [205]. ORCA inkluderar submodeller som hanterar skademekanismer från stötvåg/övertryck, penetrationsskador, värme, riktad energi, giftiga ämnen (inhalation och kontakt), trubbigt våld, accelerationsvåld och biologiska ämnen. Computerman är submodellen som används för penetrationsskador. FOI har tillgång till en äldre version av Computerman men inte de övriga delarna i ORCA.

Ett antal länder vars försvarsmyndigheter och forskningsinstitut motsvarande FOI har sårbarhetsvärderingsverktyg där AIS-koder används är t.ex.:

- Tyskland: UniVemo vilken inkluderar en modell för människan kallad VeMo-S [214] (Verwunbarkeits Modell - Schütze) som använder AIS. Data baseras på medicinska experters utlåtanden om den skadevolym som skapas.
- Frankrike: MIC [163] använder enligt referens AIS-koder för sårbarhetsvärdering.
- Nederländerna [150]: använder Computerman med AIS för sårbarhetsutvärdering.
- Kanada: SLAMS med Computerman inkorporerat. De använder AIS skalan och har uppgraderat till AIS 2015.
- Sverige: Aval med Computerman inkorporerat.

Aval [12] är ett svenskt verktyg som ägs av Försvarsmakten och förvaltas av FOI. Aval används främst för att värdera verkan mot plattformar av olika slag där människan är en del av ett större system. FOI har även utvecklat VEBE som innehåller verkansmodeller i bebyggelse [83].

Under 2018 inkorporerades en version av det amerikanska sårbarhetsverktyget Computerman i Aval så att Computerman kan användas via Avals gränssnitt. I gränssnittet finns även tilläggsmoduler som styr Computermans beräkningar och t.ex. kan simulera verkan från finkaliberprojektiler som splittas i eller välter målet. Modellen beräknar vilken skada ett eller flera penetrerande objekt orsakar i kroppen samt vilka vävnader som skadas. Genom att analysera vilka vävnader och eller organ som skadats och hur omfattande skadan är plockas en AIS-kod fram för varje enskild skada i modellen. Koden tar även hänsyn till uppgradering av AIS-kod om t.ex. skadan omfattar båda lungorna.

Simuleringar med Computerman i Aval resulterar i dels en sannolikhet för nedkämpning av målet och dels en skadeklassificering med AIS-värden och sannolikhet för överlevnad baserad på ISS.

Den version av Computerman som används idag består av en gammal version av AIS från 1985. Detta skulle behöva uppdateras till en modernare version om modellen ska användas i framtida AI-tillämpningar för försvarsmedicinska studier.

7.2 Utmaningar

Det finns ett antal utmaningar för att nå hela vägen till en autonom artificiell medicinsk enhet. En stor sådan är tillgången till data. På grund av sekretess kring personlig information och journaler är mängden patientspecifik data som går att få tag på ofta begränsad. Läger man till den försvarsrelaterade sekretessen som kommer in så fort individens sårbarhet påverkas av skyddsnivåer och hotanalyser är tillgången till data än mer begränsad.

Vid skapandet av de nya smarta AI-baserade systemen som beskrivits i tidigare kapitel går nya typer av data, vilka man kanske inte tidigare sett som intressanta inom medicinområdet, att utnyttja på nya sätt. Beroende på försvarsmedicinsk tillämpning kan t.ex. medicinskt lagersaldo, stridslägesbild, kart- och terrängdata, bilder i olika spektra (IR, RGB), ljudupptagningar, bi-sensordata, o.s.v., användas.

Beroende på den maskininlärningsalgoritm man väljer för att lösa sitt problem behövs olika mängder data. Många ansatser bygger på en inkrementell process där ett system först tränas med simulerad data eller annan närliggande data och sedan med några exempel av mer specifik data, t.ex. om man vill ha en modell som kan skilja mellan olika typer av sår och identifiera dess typ så tränas först en generell modell som kan känna igen vad som är ett sår [9] och

sedan lär man modellen detaljerna så att den kan identifiera specifika typer av sår. På så sätt behöver man inte ha stora mängder bilder på varje enskild sårtyp. Denna teknik kallas för *few-shot training* och forskare har fått goda resultat med endast en handfull exempel av det man är ute efter.

Med hjälp av simuleringsmodeller kan man beräkna troliga utfall av skadade och typer av skador vid olika tänkbara scenarier. Ett scenario kan t.ex. vara ett större anfall mot en flygbas eller mot ett fartyg p.s.s som beskrevs i inledningens masskadesscenario. Ett antal olika hotsituationer med relevanta hotstridsdelar och taktiska bekämpningsfall kan simuleras för att få upp en tänkbar utfallsrymd.

Det framräknade underlaget av skador kan användas för att dimensionera vilka sjukvårdsresurser som bör finnas tillgängligt på basen respektive fartyget. Utöver antalet skadade kan detaljer som frekvens av exempelvis allvarlig blödning, neurotrauma eller lungskada bedömas för en mer specifik resursplanering eller bedömning av utbildningsbehov.

Med hjälp av statistik från tidigare konflikter i kombination med simuleringsmodeller kan ett större erfarenhetsunderlag tas fram för bedömning av vård och utbildningsbehov. Om tillgång finns till patientspecifik data på fysiologiska data, diagnoser och behandling kan detta användas för att träna en AI till att genomföra triage, bedöma diagnoser och föreslå behandling.

8 Etik

Etik i krigstid sätter det moraliska resonerandet på svåra prov. Lyckligtvis är det en absolut minoritet av jordens ca 7,8 miljarder människor som har varit involverade i krig, men det gör också krig till en exotisk och främmande företeelse som vi normalt sett endast känner på avstånd, genom nyheter och fiktion. Om vi sedan också vill sträcka våra resonemang in i en hypotetisk, tekniskt annorlunda, framtid ställs vi inför en formidabel utmaning. Det är därför med stor ödmjukhet som vi i detta kapitel ändå ska försöka att identifiera och kommentera några aspekter av AI och robotik inom militär sjukvård.

Användning av AI inom militär sjukvård berörs av minst tre traditionella etiska underområden: den medicinska etiken som vi diskuterar i avsnitt 8.1, krigets etik (se t.ex. [162]) och teknologins etik (se t.ex. [85]). En redogörelse av alla dessa fält och hur de samverkar ligger utanför avgränsningarna för detta kapitel, men för att få en känsla för hur svårnavigerat fältet är kommer vi att göra en kort utflykt i den medicinska etiken samt en handfull relevanta konventioner.

8.1 Teoretiska och meta-teoretiska motsättningar inom bioetiken

Den medicinska etiken betraktas ofta som en del av det bredare fältet bioetik, och det är det uttrycket vi kommer att använda i resten av kapitlet. Krig, liksom människors behov av medicinska interventioner, är inget som väntar på att etikens teoretiska motsättningar ska avgöras. Praktik och förhållningssätt växer fram ändå, men bioetikens löfte är att kunna leverera en fastare grund att stå på när vi ställs inför särskilt svåra ställningstaganden. Bioetiken är dock, på gott och ont, en disciplin fylld av motsättningar. Dessa spänningar kan åtminstone delvis förklaras av etikers sökande efter koherens och andra teoretiska värden å ena sidan, och praktikers behov av handfast vägledning å den andra. Resultatet har hur som helst blivit en mångfald av angreppssätt, varav vi kommer att lyfta fram tre i följande avsnitt.

8.1.1 Abstrakt teori

En något förenklad bild av etiken är att den består av ett antal huvudströmningar som står emot varandra (i den abstrakta¹ teorin), varav tre är särskilt framträdande: konsekventialismen, deontologin och dygdetiken.

Konsekventialismen, eller konsekvensetiken, är tanken att det som gör handlingar moraliskt riktiga eller felaktiga är dess konsekvenser. En vanlig tanke inom konsekventialismen är att olika konsekvenser kan *kvittas* mot varandra; en dålig konsekvens kan vägas upp av en annan, god. Hur intuitivt tilltalande man än finner denna typ av resonemang i det abstrakta så har tiden visat att det finns gott om svårsmälta följder om man håller sig strikt till konsekvenstänkandet. Det är dock inget unikt för konsekvensetiken, annars hade kanske etikens kontroverser varit lösta sedan länge, utan alla etiska systematiseringar har sina kostnader i termer av intuitioner som måste överges om man ska acceptera dem i sin helhet.

Deontologin har två huvudgrenar: rättighetsetiken och pliktetiken. Den tydligaste motsättningen mellan deontologi och konsekvensetik är att den förra

¹I [11] används begreppet *high theory*

håller vissa handlingar som moraliskt förbjudna, oavsett hur goda konsekvenser, totalt sett, de ger upphov till. I de två huvudvarianterna är det alltså system av rättigheter eller plikter som avgränsar det moraliskt felaktiga i förhållande till det moraliskt riktiga.

Dygdetiken, den tredje stora strömningen, skiljer sig från de två tidigare (båda s.k. deontiska teorier, vilka syftar till handlingsvägledning) genom att fokusera på vilka sorters personer vi är och borde vara (s.k. aretiska teorier). Det moraliskt riktiga är här att uppvisa vissa dygder, såsom mod eller välvillighet. Deontologin och konsekventialismen erkänner värdet av dygder, men bara baserat på att de leder till upprätthållandet av rättigheter och plikter, eller ger upphov till goda konsekvenser. Inom dygdetiken är dygderna primära och behöver inte rättfärdigas i termer av andra företeelser.

8.1.2 Bioetiska principer

De tre nämnda strömningarna (konsekventialismen, deontologin och dygdetiken) representerar etikens abstrakta teoretiserande, men som nämndes tidigare har praktiker sällan tid att invänta teorins långsamma kvarnar. Som ett svar på faktiska behov formulerade två amerikanska filosofer, Beauchamp och Childress, för snart 35 år sedan fyra etiska principer tänkta att sammanfatta en moralisk vägledning för hälsovården [21]. Principerna har sedan dess fått ett mycket stort genomslag inom både utbildning och praktik.

Autonomiprincipen (eng. *principle of autonomy*) innebär att patienter, i så stor utsträckning som möjligt, behöver ha möjlighet att fatta informerade beslut kring, och lämna medgivande till, sin vård. Detta innebär bland annat att risker och fördelar med olika behandlingar måste kommuniceras på ett förståeligt sätt.

Icke-skadapprincipen (eng. *principle of non-maleficence*) innebär att medicinska interventioner varken får skada patienter eller, mer generellt, samhället.

Välgörenhetsprincipen (eng. *principle of benevolence*) innebär att det behöver finnas både avsikter och förutsättningar för att göra så mycket gott som möjligt. Det innebär bland annat att vårdgivare ska hålla sin förmåga på så hög nivå som förutsättningarna tillåter och följa utvecklingen kring behandlingsalternativ och deras effekter.

Rättvisepincipen (eng. *principle of justice*) innebär att knappa medicinska resurser ska fördelas rättvist. Principen pekar dock inte ut vilken idé om rättvisa som ska vara den rådande.

8.1.3 Fallbaserade analogiresonemang

Det finns medicinska etiker som är skeptiska till såväl det abstrakta etiska teoretiserandet som det mer handfasta principtänkandet. En sådan position är att vi bäst kan göra etiska bedömningar i enskilda fall, se t.ex. [142]. Etiska resonemang fortskrider sedan genom att jämföra nya situationer med paradigmatiska fall. Tillvägagångssättet liknar juridiska resonemang inom *common law*-traditionen, där prejudicerande fall spelar en central roll.

8.2 Konventioner med etiska anspråk

Även om synsätten i tidigare avsnitt spänner från den *höga teorin* till resonemang kring enskilda fall, så tillhör de alla den akademiska domänen. Sociala, och däribland politiska, processer skapar ibland en efterfrågan på riktlinjer baserade på gemensamma ställningstaganden snarare än akademiskt utforskande av frågeställningar (även om akademisk forskning ofta spelar en viktig roll).

Konventioner är ett möjligt svar på sådana behov, och de kallas då ofta *etiska koder* eller *etiska riktlinjer*. Svenska läkaresällskapet [273] lyfter exempelvis särskilt fram de följande:

- Tokyodeklarationen.
- Genève-deklarationen.
- FN-deklarationen om medicinsk etik.
- FN-deklarationen om mänskliga rättigheter.
- Hippokratiska eden.

I USA har en federal kommitté, Defense Innovation Board, under 2019 tagit fram en uppsättning etiska riktlinjer för AI som man föreslår ska vara vägledande för, i första hand amerikanska, försvarstillämpningar av artificiell intelligens [26]:

- Ansvarsfull – människor ska använda sitt omdöme och behåller ansvaret för utveckling, utplacering, användning och utfall av (bruk av) försvarsdepartementets AI-system.
- Rättvis – försvarsdepartementet ska på ett medvetet sätt undvika oavsiktliga bias vid utveckling och utplacering av stridsrelaterade eller icke stridsrelaterade AI-system vilka oavsiktligt skulle orsaka skada på människor.
- Spårbar – försvarsdepartementets tekniska experter ska förstå teknologin, utvecklingsprocesserna och operationsmetoderna för sina AI-system, inklusive transparenta och reviderbara metodologier, datakällor, samt designprocedurer och dokumentation.
- Pålitlig – försvarsdepartementets AI-system ska ha ett explicit, väldefinierat användningsområde, och säkerheten och robustheten hos sådana system ska testas och säkerställas genom hela livscykeln inom det användningsområdet.
- Styrbar – försvarsdepartementets AI-system bör designas och konstrueras för fylla sin avsedda funktion, och samtidigt ha förmågan att upptäcka och undvika oavsedd skada eller störning, samt möjligheten att automatiskt eller med mänsklig styrning kunna dras tillbaka eller deaktiveras vid oavsiktligt upptrappande eller annat beteende.

Konventioner likt dessa ger uttryck för en politisk vilja och kan därför utgöra en form av styrmedel som ligger under den juridiska nivån, men ofta med större praktiska konsekvenser än rent *akademiska* påpekanden.

8.3 Nya och gamla frågeställningar

Det finns, som vi har sett, en bred uppsättning konkurrerande synsätt och lösningsförslag när det kommer till etiska frågor inom det medicinska området. Vilka frågor är det då som kommer att utmana oss kring bruket av AI och robotik inom slagfältsmedicin? Här följer några förslag.

8.3.1 Moraliska subjekt och objekt

Ett moraliskt subjekt är en entitet som kan bära moraliskt ansvar, medan ett moraliskt objekt är något som kan bära moraliskt värde. Ett vanligt exempel är att små barn eller djur sällan ses som moraliska subjekt, men däremot regelmässigt som moraliska objekt. De har begränsad förmåga att bära ansvar, men moralen styr vad som är acceptabelt beteende gentemot dem.

Ju mer avancerade AI-system vi får desto mer relevant kommer frågan om systemens moraliska status att bli. Om inget artificiellt system kan vara

ett moraliskt subjekt så kommer allt ansvar för effekter som dessa system ger upphov till att hamna hos människor, även om vi kan ha svårt att se precis hur ansvaret fördelar sig.

Omvänt så väcker tanken om moraliskt ansvar hos artificiella system en rad frågetecken. I de samhällssystem vi har idag så hänger många viktiga aspekter av vår position i samhället nära ihop med frågor om moraliskt ansvar, och även artificiella system kommer att behöva passas in i vår sociala struktur på ett eller annat sätt.

Även AI-system med mer begränsad kognitiv förmåga skulle kunna börja betraktas som moraliska objekt. En följd kan t.ex. bli att det uppfattas som problematiskt att utsätta sjukvårdsrobotar (eller liknande) för stor fara på ett sätt som går bortom frågan om deras materiella värde.

Utmaningar

- Ska AI-system kunna bära moraliskt ansvar för sina handlingar, eller åtminstone dela ansvaret med människor? Märk att detta skiljer sig från frågan om *juridiskt* ansvar.
- Om AI-system kan bära moraliskt ansvar, vad betyder det för deras roll i samhället i stort? Människor anses typiskt kunna bära mer och mer ansvar med ökande kognitiv förmåga, och med det följer ofta samhälleliga rättigheter och skyldigheter. Ska något liknande gälla för AI-system?
- Har människor ett moraliskt ansvar gentemot AI-system? Hur ska detta fungera på slagfältet?

8.3.2 Autonomi: från rådgivning till handling

Precis som inom vanlig medicin så kommer människans relation till AI att ha en stark påverkan på etiska ställningstaganden. En AI som enbart svarar på frågor är kanske inte så moraliskt laddad. En som proaktivt ger råd och handlingsvägledning väcker sannolikt betydligt fler farhågor. Mest långtgående, och mest utmanande för våra moraliska resonemang, blir situationen när vi överlåter möjligheten att fatta och implementera medicinska beslut helt på artificiella system. Ju mer handlingsutrymme och ju mer autonomi vi överlåter på en AI, desto mer komplex blir problembilden. Därmed inte sagt att vi inte i praktiken kan komma fram till juridiska och praktiska förhållningssätt, men det är osannolikt att debatten därmed skulle läggas till vila.

Utmaningar

- I vilken utsträckning ska medicinska AI-system tillåtas att agera självständigt? Ska de t.ex. tillåtas att behandla skadade? Vad händer om det blir fel och vem bär i sådant fall ansvaret?

8.3.3 Kriget och medicinen

En fråga som egentligen inte är unik för krigföring, men som kanske kommer fram tydligast i militära sammanhang, är hur förmågan att föra krig påverkas av den medicinska praktik man har. Ett exempel är utfästelser att alla sårade (eller döda) ska hämtas, oavsett vilka utsikter det finns att behandla dem. Under en sådan princip, som kanske har betydande påverkan på stridsmoralen, så kan man avdela medicinska resurser till hopplösa fall, resurser som hade kunnat göra gott någon annanstans. Ett annat exempel kan vara frågan om att behandla stridande från motståndarsidan. Även i närvaro av riktlinjer som understryker en skyldighet att behandla alla sårade lika, oavsett vilken sida de tillhör, så kan avvikelser från denna princip stärka moralen hos de egna på

kort sikt. Kort sagt så kan det verka demoraliserande att se någon som kanske nyligen har dödat en stridskamrat behandlas på samma sätt som en av de egna.

Artificiella system ger möjligheter att vara mer principstyrda än människor, och kanske därmed bättre än människor på att uppfylla avsikten med ingångna konventioner, men de ger också möjligheter att göra bedömningar som styrs av betydligt fler parametrar än bara de medicinska i ett föreliggande fall. Det kan vara lockande att ha medicinska system som gör avancerade avvägningar mellan medicinska överväganden och militära överväganden, något som i så fall går emot flera av de nämnda principerna och konventionerna.

Utmaningar

- Givet att det kan finnas konflikter mellan militära målsättningar, konventioner och medicinsk etik, bör medicinska AI-system begränsas avseende vad de kan ta hänsyn till i sina bedömningar?
- Finns det domäner där vi ser att människor har särskilt svårt att agera i enlighet med fastlagda riktlinjer, men där AI-system skulle kunna göra mer principfasta bedömningar? Ska människor underställas AI-system i sådana situationer?

8.4 Slutsatser

AI och slagfältmedicin kan analyseras etiskt på en rad olika sätt, beroende på vilken abstraktionsnivå man vill lägga sig på: hög teori, etiska principer, konventioner eller enskilda fall. Oavsett vilken nivå man väljer så finns det också konkurrerande (och konkurrenskraftiga) synsätt, så utsikterna att hitta etiska ramverk som både har någon form av konsensusstöd och är heltäckande avseende vilka situationer inom vilka de ger vägledning måste ses som ytterst begränsade. För praktiker handlar det snarare om att välja ett synsätt att ansluta sig till och sedan utveckla eller anpassa handlingsprotokoll till detta synsätt. Motsättningar och luckor kommer sedan att behöva hanteras vartefter de dyker upp.

En möjlig väg framåt för svenska aktörer är att följa i Defense Innovation Boards fotspår och arbeta fram vägledande principer för AI-tillämpningar. Förslagsvis skulle en sådan process ge röst åt olika etiska synsätt och därigenom ha god förmåga att identifiera viktiga avvägningar och dilemman, men i grunden skulle det handla om en politisk process. Som nämndes tidigare så rör sig etiken långsamt som fält, men utvecklingen avseende AI-tillämpningar går för närvarande med blixtrande hastighet. Frågan för samhället, och för Försvarsmakten som en del av detta, är hur snabbt man ska röra sig framåt: invänta att etiken kommer ikapp eller, åtminstone delvis, chansna på att tiden kommer att ge oss rätt. Givet utvecklingstakten är det också tillrådligt att periodiskt se över en eventuell vägledning och inte bara revidera den när svårhanterade eller överraskande händelser inträffar.

9 Juridik

Lagar styr vilka konsekvenserna blir av vårt handlande och ibland även av de maskiner som vi människor använder oss av, t.ex. bilar och motorsågar. I takt med att AI utvecklas och nya framgångar uppnås uppstår frågan vad som händer när AI-systemen blir allt mer autonoma och agerar på eget bevåg för att uppnå förutbestämda mål? Vem ska hållas ansvarig för att det AI-baserade systemet gjorde fel bedömning kring huruvida en bild visar en bruten arm eller ej? Vem skall hållas ansvarig för att den autonoma UGV:n körde över en skadad person eller för att drönaren som skulle triagera på en mass-skadeplats ignorerade alla kvinnor? I detta kapitel tittar vi på de lagar och förordningar som är av intresse för detta område och som kan behöva kompletteras för att kunna hantera de utmaningar vi ser.

9.1 Krav på god vård

Hälso- och sjukvårdslagen [253], HSL, innehåller bestämmelser om hur hälso- och sjukvårdsverksamhet ska organiseras och bedrivas. I sin roll som vårdgivare gäller lagen Försvarsmakten där Försvarsmedicincentrum (FömedC) ansvarar för hälso- och sjukvården inom myndigheten (1 kap. 1§, 2 kap. 3§). Där det bedrivs hälso- och sjukvårdsverksamhet ska det finnas någon som svarar för verksamheten, en verksamhetschef (4 kap. 2§) och Försvarsmakten har ett flertal lokala medicinska verksamhetschefer. Enligt hälso- och sjukvårdsförordningen [255], HSF, ska verksamhetschefen säkerställa att patientens behov av trygghet, kontinuitet, samordning och säkerhet i vården tillgodoses (4 kap. 1§).

Hälso- och sjukvårdsverksamhet ska bedrivas så att kraven på en god vård uppfylls (5 kap. 1§), vilket bland annat innebär att vården särskilt ska *vara av god kvalitet med en god hygienisk standard och bygga på respekt för patientens självbestämmande och integritet*. Enligt HSL (5 kap. 3§) ska en vårdgivare även, innan en ny diagnos- eller behandlingsmetod som kan ha betydelse för människovärde och integritet börjar tillämpas, se till att metoden har bedömts från individ- och samhällsetiska aspekter.

Enligt HSL (3 kap. 1§) och patientlagen [251] är målet med hälso- och sjukvården en god hälsa och en vård på lika villkor för hela befolkningen. 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. Patienten ska få sakkunnig och omsorgsfull hälso- och sjukvård som är av god kvalitet och som står i överensstämmelse med vetenskap och beprövad erfarenhet (PatientL 1 kap. 7§). Patientens självbestämmande och integritet ska respekteras (PatientL 4 kap. 1§). Inom hälso- och sjukvårdsverksamhet ska personuppgifter utformas och i övrigt behandlas så att patientens och övriga registrerades integritet respekteras (PatientL 10 kap. 1§).

Utmaningar

- Vad innebär kraven på en *god vård* vid användningen av en autonom AI-stödfunktion och hur ska kraven uppfyllas?
- Kan användningen av en autonom AI-stödfunktion ha betydelse för människovärde och integritet och hur ska användningen i så fall bedömas från individ- och samhällsetiska aspekter?
- Kan vård i form av en autonom AI-stödfunktion ges med respekt för alla

människors lika värde och för den enskilda människans värdighet?

- Kan en autonom AI-stödfunktion bidra till hälso- och sjukvård av god kvalitet som står i överensstämmelse med vetenskap och beprövad erfarenhet?
- Kan vård i form av en autonom AI-stödfunktion ges med respekt för patientens självbestämmande och integritet?

9.2 Försvarsmaktens stöd till civil verksamhet

Det finns ett antal författningar som reglerar Försvarsmaktens stöd till civil verksamhet. Enligt förordning om Försvarsmaktens stöd till civil verksamhet [245] *får* Försvarsmakten på begäran lämna stöd till Polismyndigheten, Säkerhetspolisen, Kustbevakningen, Tullverket, andra statliga myndigheter samt kommuner och landsting (4§). Enligt samma förordning ska Försvarsmakten, vid livshotande situationer där omedelbar transport är avgörande för behandlingen av skadade eller sjuka personer, utföra transporter med helikopter på begäran av sjukvårdshuvudman genom flygräddningscentralen (3§). Försvarsmakten får i dessa fall endast lämna stöd under förutsättning att myndigheten har resurser som är lämpliga för uppgiften och det inte allvarligt hindrar dess ordinarie verksamhet eller medverkan enligt lagen om skydd mot olyckor (6§) [246].

Enligt förordning om Försvarsmaktens stöd till polisen med helikoptertransporter [252] *ska* Försvarsmakten på begäran av polisen utföra helikoptertransporter som är av större vikt för genomförandet av polisiära insatser. Försvarsmakten får endast avslå begäran om det föreligger synnerliga skäl för annan användning av helikopterresursen (2§).

Enligt lag om Försvarsmaktens stöd till polisen vid terrorismbekämpning [247] och tillhörande förordning [248] *ska* Försvarsmakten på begäran från Polismyndigheten eller Säkerhetspolisen ge visst stöd för att förhindra eller ingripa mot terroristbrott. Regeringen ska som utgångsläge lämna sitt medgivande till stödet, som måste kräva resurser av särskilt slag som varken Polismyndigheten eller Säkerhetspolisen har tillgång till, och Försvarsmakten måste i sin tur lämna stödet om myndigheten har lämpliga resurser och det inte medför synnerligt hinder i ordinarie verksamhet.

Utmaningar

- Skulle en autonom AI-stödfunktion kunna vara något som i vissa fall behövs till civil verksamhet och hur skulle detta i så fall påverka Försvarsmaktens verksamhet?
- Är det troligt att nuvarande lagstiftning gällande helikoptertransport anpassas till att även omfatta Försvarsmaktens eventuella framtida resurser i form av en autonom AI-stödfunktion och vad skulle detta i så fall innebära för Försvarsmakten?

9.3 Medicinteknisk produkt

Om en autonom AI-stödfunktion ska användas, separat eller i kombination med annat, för att hos människor exempelvis påvisa eller övervaka en sjukdom eller skada kan den komma att definieras som en medicinteknisk produkt enligt lag om medicintekniska produkter (2§) [242]. Lagen ställer bland annat krav på att en medicinteknisk produkt ska vara lämplig för sin användning (5§) och formulerar även straffansvar för de fall då en sådan produkt inte uppfyller ställda krav och villkor (17§). Enligt förordning om medicintekniska produkter [243] (2-3 §§) får Läkemedelsverket meddela närmare föreskrifter om vad

som avses med en medicinteknisk produkt och får även föreskriva att lagen om medicintekniska produkter ska gälla även för andra produkter som nyttjas i ett medicintekniskt system eller som på annat sätt i fråga om användningen står nära medicintekniska produkter eller att lagen helt eller delvis inte ska gälla i fråga om vissa medicintekniska produkter. Läkemedelsverket ska i den utsträckning det behövs meddela sådana föreskrifter om krav och villkor på medicintekniska produkter som anges i lagen (6§). För de medicintekniska produkter som tillverkas inom hälso- och sjukvården och som endast ska användas i den egna verksamheten får Socialstyrelsen meddela föreskrifter [264].

Läkemedelsverket får meddela föreskrifter om klinisk prövning och utvärdering av prestanda av medicintekniska produkter (6§). Läkemedelsverket utövar tillsyn över att lagen om medicintekniska produkter och föreskrifter som har meddelats i anslutning till lagen följs medan Inspektionen för vård och omsorg utövar tillsynen över de produkter som tillverkas inom hälso- och sjukvården och som endast ska användas i den egna verksamheten (11§) [257, 250]. Sveriges reglering av medicintekniska produkter utgår från EU-förordningar, Förordning (EU) 2017/745 om medicintekniska produkter [69] och kommissionens genomförandeförordning (EU) 2017/2185 [68].

Utmaningar

- Kommer en autonom AI-stödfunktion att definieras som en medicinteknisk produkt?
- Vilka krav och villkor kommer i så fall att ställas på stödfunktionen och hur ska dessa uppfyllas?
- Vem ska stå till svars ifall en autonom AI-stödfunktion inte uppfyller ställda krav och villkor?

9.4 Patientsäkerhet

Patientsäkerhetslagen [249] syftar till att främja hög patientsäkerhet inom hälso- och sjukvård. Med patientsäkerhet (1 kap. 5-6§§) avses skydd mot vårdskada såsom lidande, kroppslig eller psykisk skada eller sjukdom samt dödsfall som hade kunnat undvikas om adekvata åtgärder hade vidtagits vid patientens kontakt med hälso- och sjukvården. I lagen finns bland annat bestämmelser om vårdgivarens skyldighet att bedriva ett systematiskt patientsäkerhetsarbete (3 kap.), begränsningar i rätten för andra än hälso- och sjukvårdspersonal att vidta vissa hälso- och sjukvårdande åtgärder (5 kap.), skyldigheter för hälso- och sjukvårdspersonal (6 kap.) samt straffbestämmelser (10 kap.).

Av patientsäkerhetslagen framgår att försvarsinspektören för hälsa och miljö, FIHM, har tillsynen över hälso- och sjukvården inom Försvarsmakten (7 kap. 1§). Denna tillsynsuppgift regleras i förordning om försvarsinspektören för hälsa och miljö:s tillsyn över hälso- och sjukvården, tandvården och smittskyddet [254] och innebär granskning av att verksamheten uppfyller krav och mål enligt lagar och andra föreskrifter samt beslut som har meddelats med stöd av sådana föreskrifter. Exempelvis ska FIHM efter en anmälan om en händelse som medfört eller hade kunnat medföra en allvarlig vårdskada säkerställa att händelsen utretts i nödvändig omfattning och att vårdgivaren har vidtagit de åtgärder som krävs för att uppnå en hög patientsäkerhet. Efter anmälan ska FIHM även pröva klagomål mot hälso- och sjukvården inom Försvarsmakten. Av patientsäkerhetslagen framgår att Inspektionen för vård och omsorg, IVO, har tillsynen över hälso- och sjukvårdspersonalen. Om en händelse kan komma att medföra tillsynsåtgärder mot hälso- och sjukvårdspersonal inom Försvarsmakten, ska försvarsinspektören för hälsa och miljö anmäla händelsen till IVO. IVO:s tillsynsuppgift regleras i patientsäkerhetslagens kap. 7.

Utmaningar

- Vad innebär patientsäkerhet i relation till en autonom AI-stödfunktion?
- Vilka åtgärder behöver vidtas för att förebygga att patienter drabbas av vårdskador vid användning av en autonom AI-stödfunktion?
- Hur ska en utredning genomföras då en autonom AI-stödfunktion medfört eller hade kunnat medföra en vårdskada?
- Innebär införandet av en autonom AI-stödfunktion att verksamheten till väsentlig del förändras, vilket därmed behöver anmälas?
- Vilka arbetsuppgifter får utföras av andra än hälso- och sjukvårdspersonal, i detta fall en autonom AI-stödfunktion?
- Hur upprätthålls kravet på en god och säker vård i de fall då hälso- och sjukvårdspersonal delegerar en arbetsuppgift till en autonom AI-stödfunktion och hur ansvarar personalen då för att stödfunktionen har förutsättningar att fullgöra uppgiften?
- Påverkar en autonom AI-stödfunktion hälso- och sjukvårdspersonalens möjlighet att utföra sitt arbete i överensstämmelse med vetenskap och beprövad erfarenhet?
- Blir det någon förändring i hur straffansvar kan utdömas för brister i patientsäkerhet?
- Hur påverkas FIHM:s och IVO:s tillsynsuppgift av införandet av en autonom AI-stödfunktion?

9.5 Behandling av personuppgifter

Den 25 maj 2018 började EU:s dataskyddsförordning, GDPR, att gälla. Genom en övergångsbestämmelse (punkt 3) till dataskyddslagen [256], tillämpar Försvarsmakten dock under en övergångsperiod personuppgiftslagen [244]. I augusti 2018 lämnade Utredningen om behandlingen av personuppgifter vid Försvarsmakten och Försvarets radioanstalt sitt betänkande [266], där det föreslås att den särskilda reglering som nu gäller för Försvarsmaktens och Försvarets radioanstalts behandling av personuppgifter ska upplävas och att nya lagar och förordningar ska införas. Stora mängder data, i form av personuppgifter, kommer att behövas vid utvecklingen av en autonom AI-stödfunktion och kommer vid användningen att generera ännu mer personuppgifter.

Utmaningar

- Hur kommer den nya regleringen av Försvarsmaktens behandling av personuppgifter att se ut och hur ska den tolkas och tillämpas vid eventuell utveckling av, men kanske främst vid, användningen av en autonom AI-stödfunktion?

9.6 Krigets lagar

Den internationella humanitära rätten, krigets lagar, fastställer regler för hur sårade, sjuka och skeppsbrutna samt sjukvårdsenheter och sjuktransporter ska behandlas under väpnad konflikt. Centrala traktater på området är 1949 års Genèvekonventioner samt 1977 års tilläggsprotokoll I och II. Parterna i konflikten måste följa dessa bestämmelser och de personer som skyddas av traktaten kan inte avsäga sig någon av sina rättigheter. Beroende på vilken uppgift som en autonom AI-stödfunktion är tänkt att fylla och hur den är utformad kan stödfunktionen komma att definieras på olika sätt inom krigets lagar, exempelvis som sjukvårdsenhet, sjuktransport eller sjuktransportmedel¹. För följande

¹Se vidare art. 8 TP I

resonemang har dock eventuella definitioner ingen avgörande skillnad vad gäller vilka regler som är relevanta för denna studie och hänvisning sker därför fortsättningsvis endast till så kallade *sjukvårdsenheter*. Av samma skäl hänvisas endast till *sårade*, i diskussionen kring sårade, sjuka och skeppsbrutna.

Alla sjukvårdsenheter bör tydligt märkas med det röda korset. Men, de har rätt till skydd på grund av funktionen de fyller och syftet med kännetecknet är därför endast ett sätt att förmedla till andra att egendomen har rätt till särskilt skydd. Sjukvårdsenheter förlorar dock sitt skydd om de vid sidan av sin humanitära uppgift används för handlingar som är skadliga för motparten. Att frakta handvapen och ammunition som tagits från de sårade, och som ännu inte överlämnats till behörig myndighet, ska inte anses som en handling som är skadlig för motparten. Inte heller att enhetens personal har lätt personlig beväpning för självförsvar samt för att skydda sårade i deras vård berövar sjukvårdsenheten dess skydd. Sjukvårdsenheten får även skyddas av en truppvadeldning, av vakter eller av en eskort, utan att detta ska anses vara skadligt för motparten.

En grundläggande regel är att parterna i konflikten är skyldiga att, efter varje strid, vidta alla åtgärder i deras makt för att utan dröjsmål söka upp och omhänderta sårade. Dessa personer ska, i största möjliga utsträckning och med minsta möjliga dröjsmål, få den sjukvård och omsorg som deras tillstånd kräver. Ingen åtskillnad får göras mellan sårade av andra skäl än medicinska. En autonom AI-stödfunktion skulle potentiellt sett kunna minska de sårades väntan på sjukvård. Stödfunktionen kommer att ha programmerats med en stor mängd data för att kunna ge underlag för beslut som i sin tur inte får vara diskriminerande. Det har vid tidigare användning av AI-för beslutstöd², visat sig att den data som ett AI-system har programmerats med har innehållit omedvetna fördomar som därmed blivit grund för beslutsstödet.

Individer kan hållas straffrättsligt ansvariga för överträdelser av krigets lagar. Militära befälhavare kan även hållas straffrättsligt ansvariga för överträdelser som underordnad begått, i de fall befälhavaren exempelvis vetat eller borde ha vetat att den underordnade skulle begå överträdelsen. Ansvarsreglerna är tydliga, men då en överträdelse skulle kunna bero på användningen av en autonom AI-stödfunktion kan tillämpningen av reglerna i vissa fall bli utmanande.

Utmaningar

- Hur ska en autonom AI-stödfunktion i form av patienttransport, utan personal ombord, skyddas (självförsvar och skydd av patienter)?
- Kommer användningen av en autonom AI-stödfunktion underlätta för Försvarsmakten att uppfylla kravet på att, efter varje strid, utan dröjsmål söka upp och omhänderta sårade?
- Hur kan Försvarsmakten, med hjälp av ett autonomt AI beslutsstöd, uppfylla kravet på att i största möjliga utsträckning och med minsta möjliga dröjsmål, ge sårade den sjukvård och omsorg som deras tillstånd kräver?
- Kan en autonom AI-stödfunktion avgöra vilken sjukvård och omsorg som en sårads tillstånd kräver?
- Hur ska ett autonomt AI beslutsstöd programmeras för att uppfylla kravet på icke-diskriminering av sårade, av andra skäl än medicinska?
- Vem ska stå till svars i de fall användningen av ett autonomt AI beslutsstöd leder till en överträdelse av krigets lagar?

²Se exempelvis systemet COMPAS

9.7 Slutsatser

I kapitel 8 om etik såg vi att det finns ett antal konkurrerande synsätt som man kan använda sig av för att analysera AI och slagfäldsmedicin. Dessa synsätt påverkar i sin tur hur vi väljer att stifta våra lagar. Som vi har sett i detta kapitlet finns det ett antal kompletterande lagar och förordningar som styr slagfäldsmedicinområdet och utmaningarna är många när det kommer till AI. En svår utmaning är hur man ska se på ansvarsfrågan om ett AI-system bestämmer sig för att göra något som leder till skador eller till och med dödsfall.

I traditionella system brukar man gå tillbaka och titta på tillverkarens agerande och luta sig tillbaka på huruvida regler har följts eller ej samt om tillverkaren rimligen kunde ha förutsett att deras agerande skulle leda till skador, t.ex. en bilbältestillverkare kan bli straffad om bilbälten inte håller måttet och de inte har följt gällande bestämmelser. I fallet med AI-system som baserar sig på förstärknings-algoritmer, se avsnitt 2.2.1, så har en människa visserligen valt systemets utformning och AI-lösning men har inte varit inblandad i att programera systemets strategier. AI-programmet har lärt sig själv baserat på sina erfarenheter vilket som är det bästa sättet att agera för att nå sina mål. Det är då svårt att säga att en tillverkare kunde förutse att skador skulle uppstå eller att de inte har följt regler. Våra kommande lagar behöver anpassas för att ta hänsyn till dessa sorters utmaningar.

10 AI i Försvarsmaktens sjukvårdsorganisation

För att studera påverkan av AI-baserade lösningar för försvarsmedicin på Försvarsmakten i stort har Natos ramverk DOTMLPFI använts. DOTMLPFI står för doktrin, organisation, träning, materiel, ledarskap och utbildning, personal, faciliteter samt interoperabilitet. Nato-ramverket är utvecklat ur det amerikanska DOTMLPF genom tillägg av interoperabilitet. I båda fall är ramverkets huvudsakliga tillämpningsområde militär konceptutveckling där det används för att på ett ordnat sätt uttrycka förändringsbehov [61].

Inom ramen för metoden teknisk prognos som har utvecklats på Försvarshögskolan till stöd för Försvarets materielverk och Försvarsmaktens långsiktiga inriktning av teknikutveckling används DOTMLPFI för att studera vilket avtryck en framtida teknik kan få på organisationen [7]. Det är på detta sätt DOTMLPFI används även i denna studie. I följande avsnitt presenteras påverkan på respektive komponent utifrån det som har framkommit inom ramen för studien. Varje avsnitt inleds med en beskrivning av det aktuella påverkansområdet. Beskrivningarna bygger i huvudsak på de i den amerikanska publikationen *Guidance for Developing and Implementing Joint Concepts* [35].

10.1 Doktrin

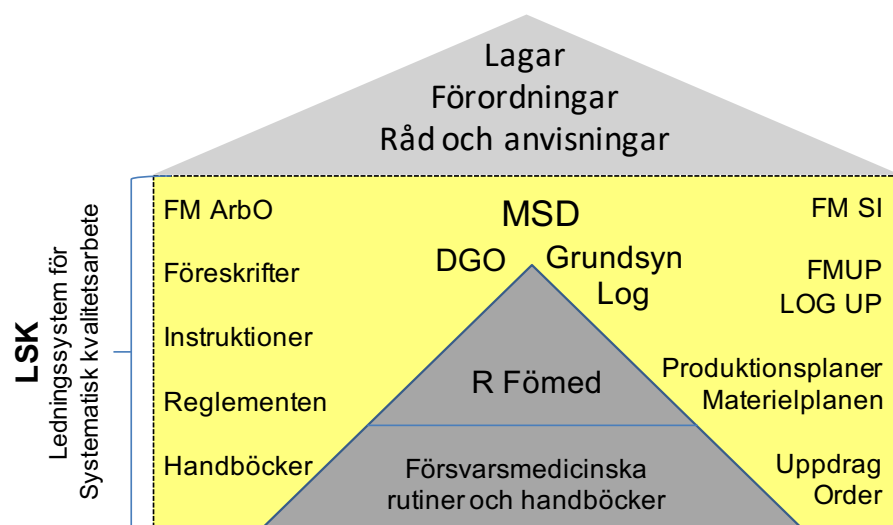
Det huvudsakliga syftet med en doktrin kan sägas vara att beskriva den grundsyn stridskrafternas medlemmar ska ha på säkerhetspolitik, väpnade konflikter och hur striden ska ledas och föras. Doktrinerna utgör underlag för utformningen av taktiska reglementen och handböcker, som också i någon mån kan sägas ingå i doktrinen [281].

”Försvarsmaktens uppgifter ska kunna utföras i olika operationsmiljöer och varierande konfliktnivåer. Vi ska kunna verka i komplexa och extrema situationer med svåra taktiska och operativa beslut, där etiska och moraliska överväganden och stora risker för förluster i människoliv och omfattande materiella skador föreligger. Att leda och utöva befälsrätt under dessa omständigheter, ofta med ont om tid och med bristande beslutsunderlag, ställer stora krav på det militära ledarskapet.”

I introduktionen till rapporten illustreras ovanstående citat ur Militärstrategisk doktrin i en försvarsmedicinsk kontext [95]. I kapitlet om civil-militär samverkan i Doktrin för gemensamma operationer [96] tydliggörs prioriteringen vid omställning från normalläge via säkerhetspolitisk kris till väpnat angrepp:

”För att skapa förutsättningar för skydd, verkan och manöver prioriteras initialt samverkan med civila för fungerande ledning som stöd till samordning, transporter, sjukvård och försörjning.”

I likhet med flygsystemens reglering genom luftfartbestämmelserna, regleras stora delar av preventivmedicin och omhändertagandet av hälso- och sjukvårdslagstiftningen [253] och medicinteknik genom lag om medicintekniska produkter [242]. Det försvarsmedicinska ledningssystemet visas i figur 10.1 och är en del av Försvarsmaktens verksamhetsledningssystem, vilket består av doktriner, föreskrifter, instruktioner, utvecklingsplaner, strategiska styrande dokument, verksamhetsuppdrag, handböcker och order.



Figur 10.1 – De försvarsmedicinspecifika delarna av Försvarmaktens ledningssystem för systematisk kvalitetsarbete (LSK) utgörs av Reglemente försvarsmedicin och av vårdgivaren eller medicinsk verksamhetschef fastställda försvarsmedicinska rutiner [93] (Grafik: Anders Sjöholm/Försvarmakten). (ArbO: Arbetsordning, DGO: Doktrin gemensamma operationer, Log: Logistik, Fömed: Försvarsmedicin, MSD: Militärstrategisk doktrin, R: Reglemente, SI: Strategisk inriktning, UP: Utvecklingsplan)

Det finns fortfarande luckor bland styrande dokument i den försvarsmedicinska styrande dokumentarkitekturen. Försvarsmedicinsk policy bör kunna integreras i kommande utgåvor av Militärstrategisk doktrin [95], Doktrin gemensamma operationer [96], eller Grundsyn logistik [91], exempelvis avseende medicinsk etik i krig, folkrättsliga avväganden, försvarsmedicinens dimensionerande tidskrav, försvarsmedicin och Totalförsvarets sjukvårdssystem, och medicinsk interoperabilitet vid värdlandsstöd. Alternativt skulle ett särskilt försvarsmedicinskt doktrintillägg kunna bidra med den medicinska policyn som efterfrågas.

De senaste åren har svenska sjukvårdsförband opererat i Nato-ledda utlandsmissioner, samtidigt som det i samförståndsavtalet med Nato om värdlandsstöd [89] ingår värdlandsstöd med sjukvårdsresurser. Föga förvånande har Försvarmakten tittat på Natos försvarsmedicinska styrande dokument och applicerat flera delar av Natos omfattande doktrinarkitektur [203], även om långt ifrån samtliga Nato-länder ser dessa doktriner som styrande dokument [159]. Sverige har dessutom själv bidragit som värd (eng. *custodian*) till Nato-doktriner, som *Allied Joint Medical Doctrine for Medical Evacuation* (AJMedP-2) [202] där det fastställs försvarsmedicinens dimensionerande tidskrav (10-1-2 regeln). Då implementering av autonom sjukvård påverkar både etik och lagstiftning kommer även Natos och indirekt vår försvarsmedicinska doktrin att påverkas av införandet av försvarsmedicinsk AI-teknik. Det förutsätter en doktrin som beskriver hur Försvarmakten ser på etiska dilemman, på interoperabel sjukvård i Sveriges stöd som värdland och på operationsplanering med hänsyn till försvarsmedicinens dimensionerande tidskrav.

AI-teknik skulle kunna underlätta för chefer att föra striden i doktrinen andå – främst genom att en ökad förmåga till exempelvis traumavård eller evakuering av stridsskadade ökar nivån för vilken risktagning som kan ses som acceptabel.

10.2 Organisation

Organisation i DOTMLPFI avser hur Försvarsmakten organiseras för att föra striden. Försvarsmaktens organisation skiljer sig mellan den i fred och i krig. Den fredstida indelningen i förband och andra organisationsenheter syftar bland annat till att producera krigsförband. Krigsförbanden utgör i sin tur huvuddelen av Försvarsmaktens krigsorganisation. Det har inte, inom ramen för studien, gått att identifiera några krav på förändring av krigsförbandens indelning eller organisation till följd av införande av AI-baserade försvarsmedicinska system.

Behov av insamling och lagring av data samt av träning, distribution och kvalitetssäkring av djupinlärningsnätverk kommer att föreligga även i krig. Av den anledningen kan ett krigsförband med detta som uppgift behövas. Ett sådant informationsmedicinskt krigsförband skulle kunna ansvara för telemedicinskt beslutsstöd, utveckling och vård av databaser med biosensordata, framtagandet av medicinsk lägesbild, träning och kvalitetssäkring av AI-system för medicinskt omhändertagande, triage och evakuering.

10.3 Träning

Träning innebär i DOTMLPFI-sammanhanget främst övning för strid – från grundutbildning av enskilda soldater och sjömän till övning av Försvarsmaktens högsta chefer. Införande av AI-baserade försvarsmedicinska lösningar av den typ som presenteras i denna rapport kan komma att få stor påverkan både på förfarandet vid skadeplats och vid transport och hantering av skadade hela vägen i den militära sjukvårdskedjan. Det kommer i sin tur att möjliggöra en utveckling av förbandstaktiken i stort. I införandeskedet av ny teknik, som AI-baserade försvarsmedicinska lösningar, kan detta komma att ställa krav på en mer omfattande övningsverksamhet jämfört med den ordinarie.

10.4 Materiel

I materiel studeras påverkan på befintlig materiel och de tekniska system som direkt och indirekt används av förbanden för att föra striden. Införande av AI-baserade försvarsmedicinska lösningar i Försvarsmakten innebär att ny materiel tillkommer till organisationen. Därtill kan vissa befintliga system behöva uppdateras för att stödja exempelvis gemensamma standarder och protokoll för kommunikation mellan bemannade farkoster, obemannade farkoster eller sensorer. Om autonoma flygande system ska användas för transport av skadade blir det också nödvändigt med igenkänningssystem (IFF, eng. *identification friend or foe*) eller annat system för *blue force tracking*. Gemensamma kommunikations- och igenkänningssystem är bland annat en förutsättning för användning av luftrummet samtidigt med andra flygande förband.

10.5 Ledarskap och utbildning

Det ledarskap som utövas i organisationen såväl som utbildningen av ledare kan komma att påverkas vid införande av nya system och koncept. Automation av livsavgörande beslut är i sig en svår etisk fråga som behandlas djupare i kapitel 8. Etiska frågor skapar i sin tur ledarskapsutmaningar för chefer i de förband som berörs av automatiserade beslut vid exempelvis triagering eller transport av skadade i autonoma farkoster. Det ställer krav på att chefer har kunskap om de etiska överväganden som föreligger och förståelse för teknikens funktion och begränsningar. Det bör tillses genom erforderlig utbildning.

Tidigare studier har visat på fall där soldater i grupper där autonoma

system har använts har utvecklat känslomässiga band till systemen. Detta kan leda till oönskade effekter såsom onödig risktagning [140]. Tydligt och avsiktligt ledarskap kan komma att krävas för att hantera detta.

10.6 Personal

Behov av personal och kompetenser i organisationen kan komma att påverkas vid införande av nya system och koncept. En av huvudanledningarna till att AI-baserade system utreds inom ramen för denna studie är att det saknas tillräckligt med legitimerad medicinsk personal för att fylla de behov som uppstår vid en större militär konflikt. Förhoppningen är med andra ord att systemen ska minska behovet av kvalificerad sjukvårdspersonal på lägre nivå. Ersättning av personal med avancerad teknik kommer emellertid att delvis förflytta personalbehovet till kvalificerad teknisk personal. Trots det kommer det totala personalbehovet sannolikt vara mindre.

10.7 Faciliteter

Behov av nya fysiska faciliteter för exempelvis förråd, tillverkning, underhåll med mera kan uppstå i samband med införandet av nya system eller koncept. Det finns inget som talar för att AI-baserade försvarsmedicinska lösningar skulle ställa väsentligt annorlunda krav på förvaring, underhåll m.m. än redan befintlig materiel i Försvarsmakten. För att AI-system baserade på djupinlärning ska kunna utvecklas eller fungera i nya kontexter behöver de tränas kontinuerligt med ny och utökad data. Såväl den militära som den medicinska kontexten kan göra att de aktuella datamängderna omfattas av stark sekretess. Det kan ställa krav lagringslösningar för mycket stora mängder data som ägs och förvaltas av Försvarsmakten. Själva träningen är en mycket beräkningskrävande process. Det innebär att det förutom datalagringsmöjligheter även behövs beräkningsresurser – typiskt i form av kluster av grafikprocessorer – som även de står under Försvarsmaktens kontroll.

10.8 Interoperabilitet

Interoperabilitet avser förmåga till samverkan på stridsfältet – främst mellan olika länders stridskrafter [158]. Avseende system, organisation eller verksamhetsprocesser skiljer man generellt mellan begreppen:

- Kompatibilitet (eng. *compatibility*) – förmågan att fungera tillsammans under specifika förhållanden utan att oönskade störningar sker.
- Interoperabilitet (eng. *interoperability*) – förmågan att fungera tillsammans och kunna kommunicera med varandra genom att överenskomna regler följs.
- Kommonalitet (eng. *commonality*) – i vilken utsträckning samma doktrin, bestämmelser och utrustning används. I detta begrepp ingår tex. utbytbart (eng. *interchangeability*) av utrustning.

Krav såväl som fördelar med interoperabilitet kan identifieras på flera nivåer inom det studerade området. Interoperabilitet på datanivå, det vill säga gemensamma format för träningsdata och tränade djupinlärningsnätverk, skulle sannolikt avsevärt minska resurserna som krävs för träning av AI-baserade lösningar inom ramen för exempelvis en koalition. De krav på interoperabilitet inom ett lands stridskrafter som nämns under stycket om materiel gäller givetvis även mellan olika samarbetande länders stridskrafter.

10.9 Sammanfattning

Det är i princip omöjligt att införa eller förändra ett tekniskt system utan att påverka den organisation det ska stödja. Hur denna påverkan ter sig och dess omfattning kan emellertid skilja sig avsevärt. Vid ett införande av AI-baserade försvarsmedicinska system i Försvarsmakten kommer den största påverkan sannolikt vara kopplad till de personer och förband som handhar eller drar nytta av tekniken. Det är främst där som behov av nya kompetenser, utbildning, övning samt anpassning av befintlig materiel kommer att uppstå. Därutöver kommer systemen att behöva stödjas av centrala funktioner med särskild kompetens och utrustning.

Exakt vilken påverkan som kommer ske och hur står omfattning den får är givetvis svårt att förutse, inte minst eftersom graden av påverkan beror av vilken specifik teknik som faktiskt tillförs förband. Avseende doktrin rekommenderas att försvarsmedicin deltar i framtagandet av Doktrintillägg logistik. I det framtida publikationsarbetet med styrande dokument och handböcker bör hänsyn till AI-teknik tas innan den införs. Införandet av AI-teknik kräver dessutom organisatoriska förändringar som möjliggör drift av AI-teknik, djupinlärning av AI på databaser och kvalitetssäkring av AI-teknik. Förutsättningar för att AI-tekniken ska kunna nyttjas på ett effektivt och säkert sätt skapas till exempel genom att tillföra ett informationsmedicinskt förband i krigsorganisationen.

11 Slutsatser

Medicinskt legitimerad personal är, och kommer med stor sannolikhet fortsatt att vara, en knapp resurs inom Försvarmaktens sjukvårdsorganisation. Användning av AI-teknik i bl.a. framtida beslutsstöd kan skapa nya möjligheter till avlastning av legitimerad personal. AI-stödet kan fokusera på olika skeden i omhändertagandet såsom vid undersökning, utvärdering, återupplivning och stabilisering av den skadade, och genom att dokumentera vårdarbetet. AI-tekniken möjliggör dessutom autonoma system som självständigt kan genomföra uppgifter som triagering, kirurgiska ingrepp och sjuktransport. De tekniska förutsättningarna och möjligheterna ökar i rask takt och flera nationer har forsknings- och utvecklingsprogram för försvarsmedicinsk AI-teknik. Med riktade forsknings- och teknikutvecklingsinsatser kommer Försvarmakten att kunna dra nytta av de redan existerande AI-systemen och -teknikerna för försvarsmedicin. På sikt kommer även de mer avancerade autonoma och komplexa AI-systemen, som idag endast existerar på ritbordet, vara möjliga att använda inom försvarsmedicinområdet.

11.1 Möjligheter

Den existerande och den kommande AI-tekniken skapar nya förutsättningar för en försvarsmedicinsk förmågeökning. Studien har identifierat följande möjligheter som bör belysas i kommande studier:

- *Medicinskt AI-beslutsstöd*: Innebär en försvarsmedicinsk förmågeökning när telemedicinsk *reachback*-funktionalitet saknas. Det möjliggör att icke-legitimerad personal kan påbörja rätt behandling innan kvalificerad sjukvård med legitimerad personal är på plats.
- *Autonom triage*: Nyttjar all tillgänglig sensordata och kan prioritera och rapportera skadade vid större skadeutfall även i hotfull miljö. Sensorerna kan även indikera hot orsakade av kemiska, biologiska eller nukleära stridsmedel.
- *Försvarsmedicinskt ledningsstöd*: Nyttjar AI-teknikens förmåga att aggregera komplex data till en medicinsk lägesbild, och stödja sjukvårdsledningen i sjuktransportplaneringen. AI kan identifiera påverkanskampanjer i cyber- och humandomänen och sälla bort felaktig data. Samtidigt journalför AI hela vårdprocessen med fullständig dokumentation.
- *Autonom sjukvårdsförnödenhetsförsörjning*: Möjliggör att sjukvårdsförnödenheter levereras autonomt till skadeplats. Genom behovsprediktion baserad på tillgänglig data kan rätt läkemedel och blodprodukter med rätt blodgrupp vara på väg innan lägesrapporten är fullständig.
- *Autonom CASEVAC*: Evakuering av skadade nyttjar alla tillgängliga plattformar för att få den skadade till rätt vårdinstans. Autonoma och obemannade plattformar skulle kunna öka evakueringsförmågan. Genom att koppla en viss robotisk förmåga till transportplattformen (RASEVAC) eller genom att nyttja den skadades exoskelett för självvaktering kan behov av dedikerade sjuktransportresurser minskas.
- *Robotisk assisterad sjukvård*: RAS möjliggör kvalificerad omhändertagande där ingen legitimerad personal finns tillgänglig. Genom att lägga robotisk assisterad sjukvård i en transportkapsel kan kvalificerad behandling påbörjas redan under transporten och försvarsmedicinens dimensionerande tidskrav kan följas.

11.2 Utmaningar

De stora utmaningarna för införandet av AI i den framtida försvarsmedicinen är:

- *Data*: AI-teknik bygger på maskininlärning med hjälp av olika typer av data. En utmaning är att nya typer av data används för syften som medicinskt är i stort sett oprövade, t.ex. bildanalys för avläsning på distans av personers kroppstemperatur. Detta kan leda till att oförutsedd partiskhet byggs in i systemen vilka då tyvärr kan lära sig att ta diskriminerande beslut. Modellerna och AI-tekniken kan bara bli så bra som den data den har lärt upp med. Med hjälp av verktyg som simulering, överföringsinlärning, och meta-inlärning kan kvalitén av inlärningsdata-seten förbättras. XAI-metoder är viktiga verktyg för att tidigt upptäcka eventuella problem. Vissa typer av data som t.ex. registrerad data från faktiska sjukvårdshändelser eller patientspecifik data kan Försvarsmakten på grund av olika lagar vara förhindrade att använda vilket kan kräva att AI-systemen får ta omvägar och lära sig med annan typ av data.
- *Datorkraft*: Djupinlärning från den växande tillgängliga datamängden förutsätter en omfattande datorkraft. Den pågående utvecklingen av kraftfullare beräkningskluster och kvantdatorer kommer att leda till högrepresterande datorsystem som möjliggör djupinlärning i realtid. Det är dock inte alla AI-system som har behov av djupinlärning i realtid. Träning och utveckling kan ske på ett (kraftfullt) system medan körning sker på ett annat.
- *Tillit, förklarbarhet och transparens*: Då tillit vittrar sönder snabbare än det skapas, är en förutsättning för användning av AI-teknik att den är kompetent, visar välvilja och integritet. Att skapa förklarbara och konsekventa AI-system kan underlätta tilliten till AI-teknik. En utmaning kan dock vara att en AI alltid kommer att följa regler vilket kan leda till problem när en AI inte beter sig som en människa skulle göra, t.ex. gå emot triageringen för att rädda en kamrat innan en fiendesoldat.
- *Sårbarheter*: Djupa neuronnät kan vilseledas genom att manipulera indata. Även om många försvarsmekanismer har föreslagits så har ingen hitintills varit robust mot variationer eller anpassningar av attackmekanismen. En annan sårbarhet finns t.ex. i läckande data. Olika typer av civila biosensorer är ofta enkla och bygger på att data lagras på en annan plats, vilket kan leda till att soldaters positioner eller känslig data, såsom basers layout och personuppgifter, röjs.
- *Kommunikation*: Autonoma system som t.ex. framtida triagedrönare och evakueringsplattformar behöver kunna kommunicera med människor och andra system. Kommunikationen med människor kan ske i naturligt språk och ett AI-system kan enkelt anpassa sig till olika språk. I vissa lägen kan kommunikationslänken vara begränsad eller p.g.a. stridssituation helt enkelt inte vara möjlig att använda. Ett system behöver alltså kunna fungera med den datorkraft som finns ombord samt med begränsade kommunikationsmöjligheter.
- *Registrering som medicinteknisk produkt*: Tillgången till robust hård- och mjukvara är en utmaning. Icke-förklarbar AI kan innehålla sårbarheter som vi först detekterar när det är för sent. Som medicinteknisk produkt måste även AI-teknik genomgå granskning och registrering av Läkemedelsverket. Även tillsynen av AI-teknik genom Inspektionen för vård och omsorg kommer att vara en utmaning för framtiden.
- *Medicinsk evidens*: Avsaknad av väl genomförda randomiserade kontrollerade studier om traumabehandling med AI-teknik förhindrar att den kan

rekommenderas när det finns behandlingar att tillgå med god medicinsk evidens, dvs. högkvalitativ forskning som stödjer behandlingen. Utveckling av AI-teknik måste därför gå hand i hand med klinisk forskning för att möjliggöra ett säkert införande.

- *Etik och lagstiftning*: Ju mer avancerade AI-system vi får desto mer relevant kommer frågan om systemens moraliska status att bli. Försvarsmedicinska företrädare måste ha en tydlig uppfattning om de medicinetiska och medikolegala konsekvenser en delegering av sjukvård till ett AI-system innebär. För att tydliggöra detta måste AI-teknikens inverkan på försvarsmedicinen analyseras allt varteftersom tekniken utvecklas.

Den fjärde industriella revolutionen där AI-teknik och robotik förändrar vårt sätt att arbeta och leva skapar nya möjligheter för vår försvarsmedicinska förmåga. Efter den omvärldsbevakningen som har genomförts i samband med denna studie utkristalliserar sig flera försvarsmedicinskt användbara möjligheter som bygger på AI-teknik. Dessa bör återfinnas i inriktningen för Försvarsmaktens forskning och utveckling och kommer att bevakas, utvecklas eller förkastas på vetenskapliga, etiska och militärstrategiska grunder.

Appendix A Begrepp och förklaringar

I detta appendix listas förkortningar och begrepp som används i rapporten.

AI	Artificiell intelligens. Med AI menas vetenskapen och tekniken att skapa intelligenta maskiner [181].
AGI	Artificiell generell intelligens s.k. stark AI. AGI är den hypotetiska intelligensen hos en maskin som klarar av att förstå eller lära sig allt som en människa klarar av [303].
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 [90].
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.
AUV	(eng. <i>autonomous underwater vehicle</i>) autonom undervattensfarkost.
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 [203]. (jämför MEDEVAC).
Cyberdomän	Informationsarenan kallas i den svenska krigsvetenskapliga litteraturen oftast cyberdomänen. Informationsarenan omfattar informationstekniska system och det elektromagnetiska våglängdsområdet samt en i princip gränslös psykologisk sfär [299].
Djupinlärning	(eng. <i>deep learning</i>) Djupinlärning är en maskininlärningsteknik där modellen uteslutande representeras av djupa neuronät [127].
DOTMLPFI	(eng. <i>doctrine, organisation, training, material, leadership and education, personnel, facilities, interoperability</i>) doktrin, organisation, träning, materiel, ledarskap och utbildning, personal, faciliteter, interoperabilitet.

Drönartriage	Triage (se förklaring) som utförs av en autonom enhet, typiskt en s.k. drönare. Drönare är ett ord som gärna används inom det civila och syftar oftast på en UAV.
EEG	elektroencefalografi.
EKG	elektrokardiogram.
EOD	(eng. <i>explosive ordnance disposal</i>) ammunitionsröjning.
Försvarsmedicin	Funktionen försvarsmedicin omfattar all hälso- och sjukvård, tandvård, och djursjukvård som genomförs i Försvarsmakten [97]. Försvarsmaktsprocesser som är kopplade till försvarsmedicin är medicinskt omhändertagande, preventivmedicin och medicinska underrättelser [93].
Humandomänen	(eng. <i>human domain</i>) Den mänskliga domänen, humandomänen, har i USA och Storbritannien konceptuellt beskrivits som en av krigföringens domäner [112, 288]. Humandomänen består då av människor som kroppsliga varelser, mänskliga tankar, känslor, och handlingskraft, samt det som skapas, som grupper, infrastruktur, konst osv. Med andra ord omfattar humandomänen allt vad människan är, vad den tänker, hur den beter sig, och vad den skapar [128]. Den militära målsättningen för humandomänen är påverkan på och inflytande över människan, dess känslor, beteende och skapande. Att kunna dominera den mänskliga domänen omfattar därför förmågan att påverka utvalda individer och grupper bättre än motståndaren (t ex med psykologiska operationer) [288]. Inflytande är alltså grundläggande för operationer i humandomänen, där mänskliga tankar, handlingar och det, som skapas av människor påverkas [112].
Manöverkrigföring	Manöverkrigföring bygger på att angripa en motståndares svagheter i stället för dess styrkor. På detta sätt uppstår god stridsekonomi även när de egna styrkorna är starkare än motståndarens. Genom att betrakta motståndaren som uppbyggd av ett system beroende av en inre sammanhållning kan de kritiska sårbarheterna identifieras och neutraliseras vilket skall leda till den systemchock som är manöverkrigföringens mål. De konceptuella faktorerna tillmäts större vikt än de fysiska. Organisation, sammanhållning och moral blir då viktiga mål som, om de slås ut, lamslår motståndarens kampvilja [95].
MASCAL	(eng. <i>mass casualty</i>) Masskadefall (jämför MCI).
Maskininlärning	Maskininlärning är ett delområde till AI. Ett maskininlärningsprogram lär sig på olika sätt att tolka sin omvärld. Dessa sätt brukar delas in i övervakad, förstärkt samt oövervakad och innebär att programmet tar in olika typer av data samt agerar på olika sätt för att nå sitt mål.
MCI	(eng. <i>mass casualty incident</i>) En händelse som överbelastar den lokala sjukvårdsorganisationen, när över en kortare tidsperiod antalet skadade är mycket större än de lokala sjukvårdsresurser och förmågor (jämför MASCAL).

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 [93]. 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 [202]. I MEDEVAC ingår för uppgiften utbildad och tränad legitimerad hälso- och sjukvårdspersonal med medicinsk utrustning (jämför CASEVAC) [93].
Medicinsk lägesrapport	(eng. <i>Medical Situation Report (MEDSITREP)</i>). För rapportering av eget läge används medicinsk lägesrapport. Rapportens syfte är att högre chef ska ha översikt över beläggning, patientförflyttningar samt begränsningar i medicinsk materiel och förmåga [97].
Medicinsk under-rättelsetjänst	Inhämtning, utvärdering, analys, tolkning och delgivning av medicinsk epidemiologisk, biovetenskaplig, miljörelaterad eller annan information relaterad till människors och djurs hälsa [97].
Militärmedicin	Militärmedicin är ett medicinskt ämnesområde som omfattar allt utövande av medicin i militär kontext i allmänhet, i synnerhet militär akutsjukvård, militär traumatologi, militär yrkes- och miljömedicin, selektionsmedicin, veteransjukvård, medicinsk underrättelsetjänst och försvarsmedicinskt ledarskap och administration [99].
Nato	North Atlantic Treaty Organization.
Obemannad farkost	Flygande (UAV), markgående (UGV), ytgående (USV) eller undervattensplattform (UUV) som framförs utan människor ombord. Obemannade farkoster kan vara fjärrstyrda eller helt eller delvis autonoma.
Preventivmedicin	Åtgärder för att förebygga sjukdomar och icke stridsrelaterade skador [97].
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 [201].
Reachback	Försörjning med produkter och tjänster, förband, utrustning, materiel från ett förband eller en organisation bakom stridsfältsnivån [17].
Role	(eng. <i>echelon</i>) Vårdsnivå enligt Nato standard [203].
ROV	(eng. <i>remotely operated vehicle</i>) fjärrstyrd undervattensfarkost.
RPA	(eng. <i>remotely piloted aircraft</i>) fjärrstyrd flygfarkost.
RPAS	(eng. <i>remotely piloted aircraft system</i>) Komplet system bestående av (fjärrstyrd) flygande farkost med sensorer samt det som krävs i form av kommunikation och styrenheter på marken för att flyga och kontrollera farkosten.
RSTA	(eng. <i>reconnaissance, surveillance, target acquisition</i>) spaning, övervakning, målinmätning.

Sjuktransport	All transport av skadad/sjuk. Omfattar bland annat transport av skadad/sjuk med tillfälligt iordningställd resurs (CASEVAC) samt transport av skadad/sjuk med medicinsk utrustning och hälso- och sjukvårdspersonal (MEDEVAC) [97].
Sjuktransportledning	Ledning av evakuering av skadade/sjuka från skadeplats till rätt vårdnivå/vårdenhet och evakuering mellan behandlande enheter [97].
Sjukvårdsförnödigheter	Sammanfattande benämning på sjukvårdsmateriel och läkemedel inklusive blod- och blodprodukter [97].
Sjukvårdsledning	Innebär att planera, verkställa, kontrollera, upprätthålla, och värdera försvarsmedicinsk förmåga inför och under insats. I sjukvårdsledning ingår sjuktransportledning, sjukvårdstaktik och att tillhandahålla medicinskt ledningsstöd och medicinsk konsekvensbedömning för insatsen [97].
Sjukvårdstaktik	Skapa förutsättningar för att med medicinska resurser inom ett insatsområde hantera planerat eller uppkommet medicinskt vårdbehov [97].
STANAG	(eng. <i>Standard NATO Agreement</i>) Standardiseringsdokument som reglerar materiel, metoder, design med mera, som rör militära enheter från nationer som antingen är Nato-medlemmar eller på annat sätt samverkar med Nato. Många STANAG bygger i sin tur på olika civila standarder [199].
STRATEVAC	(eng. <i>strategic medical evacuation</i>) Kvalificerad sjuktransport (MEDEVAC) från operationsområdet till hemlandet, eller utanför operationsområdet. STRATEVAC kan genomföras t ex med civila charterflygplan, väl medveten om deras begränsningar beroende på hotbild i operationsområdet [202].
Telemedicin	Hälso- och sjukvård på distans där sjukvårdspersonal nyttjar information och kommunikationsteknologi för diagnos, behandling och prevention av sjukdom och skador, forskning och utvärdering, och för utbildning av sjukvårdspersonalen själv, med syftet att förbättra den individuella patientens hälsotillstånd samt dess omedelbara omgivning [301].
Totalförsvaret	Totalförsvaret syftar till att skapa en strategisk ordning baserat på totalförsvartanken. Den bygger på att det militära försvaret måste verka tillsammans med övriga samhället för att klara utmaningarna under fred, kris, höjd beredskap och krig. Totalförsvaret grundas på samfälliga civila och militära krigsförberedelser, vilka ska ge en struktur som å ena sidan möjliggör och understödjer militära operationer, å den andra sidan värnar samhällets funktionalitet samt befolkningens liv och hälsa.

Triage	Prioritering för akut och fortsatt behandling samt medicinsk evakuering av skadade efter en primär undersökning. Triage genomförs i följande två steg: 1. Sällningstriage (eng. <i>triage sieve</i>) genomförs före det första omhändertagandet. 2. Sorteringstriage (eng. <i>triage sort</i>) genomförs i ett senare skede före evakuering. Triage är en dynamisk och repetitiv process, och så fort läget tillåter ska reevaluering av prioritering genomföras [93].
UAV	(eng. <i>unmanned aerial vehicle</i>) obemannad flygfarkost.
UGV	(eng. <i>unmanned ground vehicle</i>) obemannat (markgående) fordon.
USV	(eng. <i>unmanned surface vehicle</i>) obemannat ytfartyg.
UUV	(eng. <i>unmanned underwater vehicle</i>) obemannad undervattensfarkost.
UxV	(eng. <i>unmanned vehicle</i>) obemannad farkost i ospecificerad domän "x".
XAI	(eng. <i>explainable artificial intelligence</i>) Forskning inom förklarbar AI genomförs för att säkerställa att logiska samband och beslutsprocesser kan förklaras för slutanvändaren [175].

Appendix B Workshop AI-tillämpningar för försvarsmedicin

I syfte att undersöka behov av och möjligheter med AI inom Försvarsmaktens sjukvårdsorganisation genomfördes 2019-09-03 en workshop på Försvarshögskolan i Stockholm med deltagare från Försvarsmedicincentrum, Försvarsmaktens tekniska skola, Sjöstridsskolan, Försvarshögskolan, Försvarets materielverk, Totalförsvarets forskningsinstitut och Karolinska institutet. Workshopen designades för att möjliggöra en avgränsning och inriktning av studiens genomförande.

B.1 Workshopmetodik

Workshopen inleddes med en översiktlig presentation av studiens syfte samt en presentation om AI-området och olika AI-tekniker. Därefter genomfördes själva workshopen i två steg. I det första steget fick deltagarna skriva ner kända problemområden inom dagens försvarssjukvård på lappar. Innehållet på lapparna presenterades för övriga deltagare och diskuterades kortfattat, varefter lapparna sorterades i ett antal tematiska områden. I steg två fokuserade deltagarna på att generera lappar med möjliga AI-inspirerade lösningar på tidigare identifierade problem. Även dessa presenterades för övriga deltagare, som gavs möjlighet att diskutera och kommentera innehållet. Workshopen avslutades med en kvalitativ diskussion kring framtida möjligheter samt vad som hade framkommit under dagen.

B.2 Resultat

Följande övergripande tematiska områden identifierades under workshopen:

- Triage (prioritering för sortering av skadade).
- Sjukvårdsledning och sjukvårdstransport.
- Medicinsk kompetens samt kapacitet.
- Läkemedelslogistik och -försörjning.
- Lagstiftning och juridik.
- Totalförsvär.

I följande avsnitt följer exempel på problem och behov samt AI-koncept och tekniska lösningar inom respektive temaområde.

Triage

Diskussion fördes om behov av stöd vid akuta sjukvårdsinsatser, exempelvis vid prioritering för sortering av skadade, dvs. triage. Detta blir speciellt viktigt vid begränsad tillgång till legitimerad sjukvårdspersonal, exempelvis ombord på fartyg, flygplan eller andra platser som kan bli isolerade från sjukvårdssystemet. Behovet kan även avse stöd vid diagnostisering och tolkning av patientdata, samt sjukvårdsstöd vid plötslig sjukdom (ej trauma) utan uppenbar orsak.

Exempel på koncept och tekniska lösningar:

- AI och biosensorer som stöd för triage, exempelvis ombord på fartyg, vid drabningsplats och i sjukvårdskedjan bakåt. Vid prioritering mellan patienter, men även för bedömning av enskild patient, t.ex. angelägenhetsgrad, tid till läkare/operation.

- Triagedrönare, som en sensor i luften.
- Katastrofmedicinskt beslutsstöd för triage.

Sjukvårdsledning och sjuktransport

Inom temaområdet fördes diskussion kring olika operativa kontext, exempelvis sjukvård i CBRN-miljö och sjukvårdstransport "under beskjutning". Exempel på generella behov inom temaområdet var aktuell information för uppfattning om stridsvärde och hälsoövervakning på bataljonsnivå, samt att kunna planera kortaste väg till rätt vårdinrättning. Andra behov som lyftes fram var katastrofmedicinskt beslutsstöd för prioritering samt samordning av ambulansresurser (rätt ambulans på rätt ställe i rätt tid), speciellt vid trauma där patienten behöver få vård i tid.

Exempel på koncept och tekniska lösningar för sjukvårdsledning:

- Ledning av sjukvårdsresurser.
 - AI för prioritering av sjukvårdsresurser.
 - Leda sjukvårdsresurser baserade på flera lager av information (terräng, patient, prediktion, fiende, plattform).
 - Triageringsledningssystem: matcha ihop skadad med vårdresurs.
 - Sjukvårdsplaneringssystem i tid och rum: när och var?
 - Gemensam databas för tillgängliga sjukvårdsresurser.
- Hälsostatus.
 - Automatiserat hälsostatussystem (biosensorer): identifiering av epidemi, förutse utbrott.
 - Hjälp att bedöma besättningens status bl.a. med hjälp av biosensorer.
 - Status (stridsvärde, individer).
- Preventivmedicin och medicinsk underrättelse
 - Preventivmedicin och medicinsk underrättelsetjänst.
 - Stöd att prognostisera medicinska utfall vid militära operationer. Stöd för medicinsk dimensionering.
- Exempel på AI och beslutsstöd.
 - Beslutsunderlag baserat på patientens historik – nuläge och prediktion av framtid.
 - Lägesbild.
 - Mönsterigenkänning.
- Kommunikation och tolkningsbarhet, tex. automatiska ljudsystem som automatiskt översätter mellan olika språk eller möjliggör att rensa bort bakgrundsljud.
- Automatiserad biodataregistrering.
- Försvarsplanering. Omfallsplanering.

Exempel på koncept och tekniska lösningar för sjukvårdstransport:

- UAV-transport av skadade och sjuka.
- Automatiserad, obemannad sjukvårdstransport, t.ex. MEDEVAC-pod och autonom CASEVAC.
- AI-stöd som avropar sjukvårdstransport vid behov.

Medicinsk kompetens samt kapacitet

Medicinsk legitimerad personal är och kommer med stor sannolikhet även fortsatt att vara en knapp resurs inom Försvarmaktens sjukvårdsorganisation.

Vid normalberedskap finns t.ex. ingen legitimerad personal ombord på fartyg. Sjukvårdskapacitet finns i basområden. Beroende på typ av förband eller grupp, uppgift och operativt sammanhang så kan samband till högre ledningsnivå och medicinsk expertis vara begränsat, samt att närmaste kvalificerade sjukvårdsresurs kan finnas både timmar eller dagar bort. Ur ett organisatoriskt perspektiv finns även resursutmaningar som militär och civil operationskapacitet samt vårdkapacitet.

Exempel på koncept och tekniska lösningar:

- "Big data". Analysera stora mängder realtidsdata, exempelvis biodata, klimat, väder, rörelse. Föreslå lösningar och situationer baserade på "big data"-mönster.
- Stöd till självhjälp/egenbehandling. Exempelvis skapa högre överlevnadsgrad genom smarta uniformer med inbyggda tourniqueter och biosensorer som känner av blodtrycksfall i lemmar.
- Stöd till chef (AI-baserad, automation), även när samband ej finns.
- Stöd till icke-sjukvårdsutbildad personal, ex.
 - stöd att bekräfta val av behandling/medicin och dosering.
 - reducera risk genom övervakning, påminnelser och larm baserat på sensorer och inmatad data.
 - övervakning av patienter (jmf. IBM:s Watson som kan diagnosticera cancer m.m.).
- Stöd för att bedöma enskilda sjukdomsfall ombord.
- Stöd att bedöma besättningens status.
- Rådgivning, såväl medicinsk som logistisk, baserat på realtidsdata (medicinska och kontextuella) och baserat på analys av tidigare incidenter.
- Chatbotar för sjukvård, robotläkare som applikation och resurs att ha med sig.
- Bestämma sjukdomsfall (jmf. IBM:s Watson som kan diagnosticera cancer m.m.).
- Stöd för automatiserade avrop baserade på prediktion.
- Stöd med lagar och regler, konflikterande system, tex. hur prioritera.
- Distanshjälp, tex. operationer och "isolerade enheter" (telemedicin/autonomt).

Läkemedelslogistik och -försörjning

Inom temaområdet diskuterades behov inom exempelvis optimering av lager och leveranser av sjukvårdsförnödenheter, framskjuten försörjning av sjukvårdsförnödenheter (läkemedel, blod, förbrukningsartiklar, m.m.), samt uthållighet vid längre taktiska, militära operationer.

Exempel på koncept och tekniska lösningar:

- Läkemedels- och materielleverans enligt "Amazon" (autonomt). Användning av UAV för t.ex. distribution av läkemedel, medicintekniskutrustning (MTU), blod, förnödenheter och vätska. Svärm med utrustning m.m.
- Logistik – resursförsörjning, evakuering.

Lagstiftning och juridik

Lagstiftning och etik belystes endast översiktligt under workshopen. Resonemang fördes kring tydlig lagstiftning som tillåter sjukvård som utförs av AI eller robot. Frågor och koncept som diskuterades var exempelvis rådgivande AI, automatisk läkemedelsgivning, vård i "hemmet" och i "fält", användning av AI för diagnoshjälp och instruktioner för "hjälp till självhjälp" (DIY, Do-It-Yourself) för medicinska frågor/behandlingar.

Totalförsvar

Inom temaområdet fördes diskussion om civil-militär samverkan, såsom samverkan med civil sjukvård, samt inom sjukvårdsledning och sjuktransportledning. För att underlätta denna samverkan såg deltagarna ett behov av en gemensam databas med information om tillgängliga sjukvårdsresurser. Möjlighet att analysera stora mängder data, t.ex. offentligt tillgänglig information via sociala medier, skulle kunna möjliggöra upptäckt av tidiga och svaga signaler i samhället som exempelvis rykten samt prediktera utbrott av smittsamma sjukdomar.

B.3 Diskussion

Workshopen avslutades med en diskussion om prioriterade områden.

Diskussion fördes om möjligheten att i relativ närtid kunna nyttja drönare och biosensorer för att samla in data för vidare bearbetning och analysstöd inför exempelvis triage. Ett steg på vägen för att nå dit skulle kunna vara att i ett demonstrator- eller transferprojekt pröva denna typ av teknik i olika relevanta operativa sammanhang. Andra koncept som lyftes fram var autonom MEDEVAC och MEDEVAC-pod för sjukvårdstransport, autonom logistikkedja och användning av UAV:er för läkemedelslogistik.

Medicinsk legitimerad personal är och kommer med stor sannolikhet fortsätta att vara en knapp resurs inom Försvarmaktens sjukvårdsorganisation. Deltagarna såg bland annat möjligheter med användning av AI som beslutsstöd för chefer samt icke-legitimerad personal. Detta bedömdes på lite längre sikt. AI-baserade beslutsstöd skulle kunna möjliggöra för icke-legitimerad personal att omhänderta skadade som annars behöver kvalificerad vård och påbörja omhändertagandet tidigare/längre ut i fält. I strid där skadefall finns längst fram, finns behov av stöd inför beslut om vad som behöver göras. Gruppens stridssjukvårdare kan göra ett grovt triage, men första högre instans som konkret har med sjukvårdsledning att göra är kompanikvartermästaren. Beslutsstöd baserade på AI-teknik skulle kunna stödja prioritering av skadade, stödja sjukvårdsledning och prioritering av sjuktransport.

Vid sjukvårdsledning finns behov av stöd för att prognosticera medicinska utfall vid operationer, stöd för medicinsk diagnostisering. Diskussion fördes om användning av biosensorer för övervakning av hälsostatus och möjligheten att t.ex. med hjälp av AI kunna förutse behov innan bäraren inser att behovet finns. Diskussion fördes även om användning av AI-teknik för att avropa tjänster, optimera resurser och resursen i sig optimerar sig efter förutsättningarna, t.ex. sjukvårdstransporttjänster och -resurser.

Appendix C Förstudie autonom CASEVAC

En av de viktigaste faktorerna när det gäller en skadad soldats överlevnads-sannolikhet gäller tiden från skada till kvalificerat omhändertagande [101]. Försvarmakten arbetar efter konceptet "10-1-2" där den skadade så snart som möjligt (senast inom 10 minuter) ska ha blivit omhändertagen av en stridskamrat eller stridssjukvårdare, erhålla kvalificerad vård av legitimerad sjukvårdspersonal och vara under transport till ett (fält-)sjukhus inom en timme och slutligen att patienten opereras av en sjukvårdsenhet med kirurgisk kompetens inom två timmar från skadetillfället. Konceptet har visat sig fungera väl i exempelvis internationella insatser såsom i Afghanistan där Försvarmakten utvecklade en sjukvårdskedja där kvalificerad sjukvårdspersonal användes tidigt i kedjan. En viktig komponent var MEDEVAC helikoptrar.

I en större konflikt mot en kvalificerad motståndare, vilket utgör det dimensionerande scenariot för Försvarmakten, riskerar dock antalet skadade att lokalt omöjliggöra ett sådant omhändertagande då tillgången till framförallt legitimerad vårdpersonal kommer att vara kraftigt begränsad. Det är i sådana scenarion som evakuering av skadade kan komma att behöva utföras utan utbildad sjukvårdspersonal, och där obemannade system kan möjliggöra att patienten kan få vård av kvalificerade sjukvårdsresurser avsevärt snabbare.

C.1 Bakgrund

Försvarmakten deltog med stöd från FOI i Nato Science & Technology Organization (STO) förstudien Human Factors and Medicine Exploratory Team (HFM-ET)-167. Arbetet tog till stora delar avstamp från tidigare Nato arbete med HFM-184 *Safe Ride Standards for Casualty Evacuation Using Unmanned Aerial Vehicles* som avslutades 2012 [200]. HFM-ET-167 leddes av dr Gary Gilbert och U.S. Army TATRC (*Telemedicine & Advanced Technology Research Center*), med deltagare från de olika försvarsmaktsgrenarna i USA samt deltagare från Tyskland, Frankrike, Storbritannien, Nederländerna och Sverige. Syftet med ett *Exploratory Team* är att definiera intressanta frågeställningar för fortsatt arbete, ofta i form av en *Research Task Group, RTG*, samt förankra att intresse finns hos nationerna att genomföra en sådan aktivitet. Arbetet fokuserade runt följande fem målsättningar [277]:

- Etablera gemensamma Nato-koncept för hur kommande obemannade multirollplattformar även ska kunna utnyttjas för medicinska ändamål.
- Etablera en Nato-gemensam roadmap för forsknings- och utvecklingsinsatser riktade mot robotiserade, obemannade och autonoma förmågor som kan stödja omhändertagandet av skadade (eng. *Combat Casualty Care*) samt evakueringen av skadade (eng. *Tactical Evacuation*).
- Utveckla metoder för att implementera s.k. *safe ride standards* för kommande obemannade plattformar som används vid evakuering av skadade.
- Kartlägg och välj ut interoperabilitetsstandarder.
- Definiera uppdragsplaneringsförmågor som förutsätts för att effektivt koordinera taktisk vård (eng. *tactical care*) och evakuering med obemannade system.

Under arbetets gång diskuterades vid återkommande tillfällen huruvida obemannade system är lämpliga att använda även för MEDEVAC, där utbild-

dad sjukvårdspersonal ersätts med robotiserad vård under förflyttningen. Etiska överväganden har under lång tid förhindrat införandet av RASEVAC. När det gäller MEDEVAC förväntas det ta årtionden innan robotiserad vård kan nå motsvarande nivå av vård som specialiserad sjukvårdspersonal kan administrera. När det gäller användningen av obemannade system för att öka kapaciteten för CASEVAC vid stora skadeutfall så bör användningen av RASEVAC baseras på relativa riskanalyser där riskerna för patienten som orsakas av en långsam bemannad sjuktransportkedja vägs mot riskerna som uppkommer vid en RASEVAC. Denna användning av obemannade system för evakuering av skadade bedöms ha större möjligheter att nå acceptans inom läkarsamfundet och militära beslutsfattare. Notera även att användningen av RASEVAC inte utesluter att sjukvårdspersonal medföljer ombord för att omhänderta den skadade under evakueringen. Alla plattformar har dock inte utrymme för att vård ska administreras under transporten.

C.2 Genomförande

Två möten genomfördes under 2019

1. 2-4 april 2019: Falls Church, VA, USA
2. 24-26 september 2019: München, Tyskland

USA har kommit långt framförallt i utvecklingen av obemannade system för RASEVAC. De för nu in medelstora UGV:er operativt som kan användas för opportunistisk RASEVAC, samtidigt som rotorbaserade UAV:er använts under en längre tid av främst US Navy och Marinkåren. De senaste åren har även graden av autonomi utvecklats, så att det snarare är regelverket och säkerhetsmässiga aspekter rörande delning av luftrummet med bemannade plattformar som utgör de stora hindren. I USA delas området ibland upp i autonom vård (eng. *autonomous care*) och autonom evakuering. Mycket av diskussionerna behandlade inledningsvis autonom vård men gruppens kommande arbete inriktades mot slutet av mötet mot RASEVAC. Koncept- och tankemässigt framkom dock inte något revolutionerande, men med deras betydande resurser har de haft möjlighet att utveckla skarpa prototypsystem och genomföra omfattande försöksverksamhet med dessa.

Vid det första mötet framkom att möjligheterna att använda, och nyttan med, RASEVAC varierar med scenariot. Fyra övergripande scenarion identifierades, där Sverige fick i uppgift att ta fram ett scenario och en möjlig CONOPS (*Concept of Operations*) för användningen av autonom vård och evakuering av skadade med obemannade system. Försvarsmakten och FOI utvecklade därför en vignette för RASEVAC vid kustnära amfibieoperationer. Vignetten består av tre delmoment med en gradvis eskalerande konfliktnivå. Möjliga framtida koncept för RASEVAC beskrivs, där fokus i den lägre delen av konfliktskalan var att uppnå goda smygegenskaper.

Vid det andra mötet redovisades denna vignette och tillhörande förmågegap och förslag på forsknings- och teknikutvecklingsinsatser kopplade till att fylla de identifierade bristerna. Övriga scenarion avrapporterades i huvudsak genom användandet av tidigare utvecklade scenarion i USA.

C.3 Övergripande scenario

Inom ramen för Nato-förstudien tog Försvarsmakten med stöd av FOI fram ett förslag till vignetter för analyser av hur obemannade system skulle kunna förbättra förmågan att evakuera skadade (även benämnd RASEVAC). Vignetten fokuserade på kustnära amfibieoperationer och består av tre delmoment

med en gradvis eskalerande konfliktnivå. Exempel på möjliga framtida koncept för RASEVAC togs fram, där fokus i den lägre delen av konfliktskalan var att uppnå goda smygegenskaper.

Det övergripande scenariot utspelar sig i Östersjön, dels i skärgårdsmiljö och dels öster om Gotland. Området karaktäriseras av sin närhet till både fastlandet, stora öar och skärgården. Fartygstrafiken i området är intensiv och förser flera angränsande länder med sin huvudsakliga försörjning. En stor andel av östersjöländernas energitransporter passerar i området. Området är också föremål för en fast installation av en bottenlagd gasledning som förser ett flertal länder i Europa med naturgas.

De senaste månaderna har ett skärpt säkerhetsläge gällt i Östersjön då flera aktörer påstår sig vara beredda att påverka energitransporterna till och från mellersta Östersjön. Sveriges marinstridskrafter har genomfört en större operation för att dels visa sin närvaro och vara en aktiv part på ytan för att kunna stödja sjöfart och fiske samtidigt som egna intressen och internationella överenskommelser övervakas. En annan del av operationen är dold och genomförs främst med ubåtar och korvetter och handlar om att inhämta underrättelser.

C.4 Vignette del 1 – Dold signalspaning öster om Gotland

Korvetten Helsingborg har legat ute i flera dagar och den kraftiga sjögången i kombination med det dolda uppträdet börjar ta ut sin rätt på besättningen. Korvetten är lyckosam i sin inhämtning och bidrar med strategiskt viktiga underrättelser. Under en övning ombord klämmer en av sjömännen en arm så illa att denne behöver kvalificerad vård. Ombord finns örlogssjukvårdare som med stöd av sjukvårdstjänstledare genomför kvalificerad första hjälp och stabiliserande åtgärder.

Efter drygt två timmar informerar den medicinskt ansvarige ombord fartygschefen om att sjömannens liv är i fara och rekommenderar att denne flyttas för att kunna erhålla mer kvalificerad vård. Närmaste militära Role 2 sjukvårdsresurs finns på Gotland där det även finns ett civilt sjukhus med rätt vårdprofil.

Fartygschefen ombord väljer att inte avbryta den pågående operationen genom att bryta och sätta kurs mot Gotland. Fartygschefen avstår även från att begära MEDEVAC med helikopter då det skulle löpa stor risk för att röja fartygets position och därmed kraftigt försvåra både den egna underrättelseinhämtningsverksamheten men också riskera att röja andra enheter som ingår i den dolda underrättelseoperationen. Fartygschefen väljer istället att använda den på plattformen nyligen integrerade obemannade multifarkosten och en evakueringspodd (CASEVAC-pod) för evakueringen.

Farkosten klargörs på mindre än 15 minuter och programmeras att flyga till angiven landningsplats vid den mottagande sjukvårdsenheten. Flygtiden bedöms vara ca 45 minuter och farkosten flyger inledningsvis med en flygprofil anpassad för dolt uppträde för att reducera risken för att avslöja sin startposition och därmed korvettens position och uppdrag. Efter ca 25 minuter övergår farkosten till att flyga med normal flygprofil och kommunikation mellan patient och sjukvårdsenhet på Gotland kan initieras. Information från biometriska sensorer skickas till mottagande sjukvårdsenhet och patienten kan fjärrövervakas under transport med en telemedicinapplikation. Ungefär en timme efter att beslutet om evakuering fattades så är patienten inne i sjukhuset och där kan kvalificerad vård administreras.

C.5 Vignette del 2 – Amfibiebataljon utövar kontroll av skärgård

I den andra delen utövar en amfibiebataljon kontroll av skärgård, med beredd uppgift att fördörja/hindra motståndare att framrycka.

Situationen eskalerar. Sverige befinner sig nu i ett gråzonsscenario, med inslag av hybridkrigföring, med en potentiell konflikt hägrande mot en teknologiskt kvalificerad och numerärt överlägsen motståndare. Det finns nu anledning att befara att situationen kan eskalera till en regelrätt militär konflikt. Motståndaren förväntas ha signifikanta resurser tillgängliga i form av spaning, övervakning och målinmätning, långräckviddig bekämpning och telekrigsresurser. Vid en konflikt förväntas luftrummet inte vara under full kontroll kontinuerligt.

C.5.1 Uppdrag

Andra amfibiebataljonen har etablerat kontroll över en del av skärgården utanför en viktig hamn för att möjliggöra för egna marina förband att etablera en *Sea-Line-of-Communications*, SLOC, och förhindra motståndaren från att framrycka och operera i området och påverka SLOC. Amfibieförbanden utgör en vital länk mellan marina och arméförband. En amfibiebataljon innefattar ett kompani med kustjägare, tre amfibieskyttekompanier som stöds av logistik och ledningsresurser. Amfibiebataljonen har till sitt förfogande olika snabbgående ytfarkoster (stridsbåt 90, gruppbat, svävare och stödfarkoster). Stridsbåten kan transportera en halv pluton medan gruppbaten (G-båt) kan transportera en grupp eller användas för logistik. Farkosterna är idag bemannade men kan potentiellt konverteras i framtida operationer till obemannade fjärrstyrda eller självkörande farkoster med s.k. *appliqué kits*.

Amfibiebataljonens sensorgrupp har installerat sig på en av öarna och har uppdraget att bedriva dold informationsinhämtningen, samt vid behov överföra målinformation för fientliga farkoster som försöker ta sig in i området. Under uppdraget råkar sensorgruppen i en eldstrid med enstaka dykande underrättelseoperatör. Motståndaren blir allvarligt skadad och skadan utgörs av skottskada i buk/bröst. Då gruppen fortfarande löser sin uppgift och inte har erhållit egna skador är beslutet att kvarstanna och lösa uppgift för att undersöka om stridskontakten kan komma att ha en efterföljande insats från motståndare. Det tänkta operationsområdet illustreras i figur C.1.

Den skadade är i ett kritiskt tillstånd och sensorgruppens stridssjukvårdare kan inte ge tillräckligt kvalificerad vård. Bataljonschefen vill inte röja övriga enheter eller låta sensorgruppen själva transportera den skadade till en mer kvalificerad sjukvårdsenhet. Beslutet blir att begära transport med obemannad persontransport och transportera den skadade till bataljonens Role 2 för vård och bevakning. Kl 0300 landar den obemannade transportfarkosten ca 500 m från sensorgruppen. Gruppens sjukvårdare har som förberedelse för evakueringen placerat den skadade i en obemannad MEDEVAC POD, som med sina sensorer är uppkopplad mot dels en vådrobot ombord, som med sitt AI övervakar och hanterar livsuppehållande funktioner. MEDEVAC POD är även uppkopplad mot hänvisad Role 2 enhet, vilket möjliggör mänsklig övervakning och telemedicin under transporten. Det har nu gått ca 45 minuter sedan eldstriden ägde rum.

Det är kritiskt att transporten genomförs dolt för att inte röja gruppens position. MEDEVAC POD:en har en modifierad version som är designad att ligga i ett lågt ytläge (*semi-submersible*), vilket innebär att en bogsering kräver avsevärt lägre energiåtgång jämfört med att den transporteras förankrad i en UAV. En sådan MEDEVAC POD kan bogseras med en avsevärt mindre UAV



Figur C.1 – Karta över operationsområdet. Sensorgruppen har grupperat dolt på en ö i yttre skärgården (röd stjärna). En Role 2B sjukvårdsenhet finns på fastlandet ca 30 km bort. Även omlastningsplats finns utmärkt (orange ring).

som flyger strax ovanför vattenytan vilket gör den svårupptäckt för fientliga spanings- och övervakningsresurser framförallt i en skärgårdsmiljö. Alternativt kan POD:en bogseras av en liten USV (motsvarande en Piraya USV) eller en nyutvecklad autonom *Jet Board* (exempelvis [157]). Själva POD:en ligger i ett lågt ytläge med endast minimal exponering och den dras genom vågorna i ca 10 knop.

Efter 30 min möter MEDEVAC POD:en upp en bemannad eller obemannad sjögående sjukvårdstransport (Strb90H) vid en omlastningsplats. POD:en kopplas från bogseringen och lyfts ombord för transport i hög fart (35-40knop) till ROLE 2 hänvisning där patienten tas ut ur POD:en och får adekvat vård. Hela transporten tar ca 60 minuter.

Sensorgruppen kvarstannar i innehavd gruppering och bataljonen gör sig redo att möta ett angrepp. Sjukvårdsresurserna kraftsamlas därför till ett av amfibieskyttekompanierna. Sensorgrupper och andra mindre enheter får förlita sig på sina egna sjukvårdsresurser och tillgången till transportkapslar under det kommande dygnet.

C.6 Vignette del 3 – Slå luftlandsättning

Dygnet efter att den dykande underrättelse operatören skadades i en eldstrid sker en luftlandsättning med främst helikopter i utkanten av bataljonens operationsområde. Motståndet utgörs av en förstärkt pluton och amfibiebataljonen väljer att omedelbart möta motståndaren genom att dels bekämpa med indirekt eld, och därefter låta ett amfibieskyttekompani landstiga och slå kvarvarande fiender och säkra terrängen.

Under landstigningen och den efterföljande striden erhåller skyttekompaniet ett 10-tal egna skadade, samtidigt som antalet skadade fiender är högre.

Bataljonens sjukvårdsresurser, bestående av en tung sjukvårdsgrupp som kan utföra avancerad första hjälpen och livsuppehållande kirurgi samt triagering av skadade, framgrupperas till samma ö. Från den framskjutna sjukvårdsgruppen hämtas skadade med obemannade logistikplattformar (konverterade G-båt och Strb 90H) som vardera kan transportera ett större antal lätt skadade patienter eller enstaka patienter i MEDEVAC POD:ar i hög hastighet (över 30 knop, beroende på patienternas skadesituation) till Role 2 hänvisningar. Kom-

paniets egna sjukvårdsgrupper bistår på skadeplatsen och förstärker den tunga sjukvårdsgruppen genom att utföra triage och vård av patienter, samt ilastning av patienter inför avfärd.

De obemannade logistikplattformarna kan i hög fart och med låg risk ta sig mellan det direkta stridsfältet och Role 2, hela tiden med taktiskt skydd av drönare och helikopter som kan upptäcka och nedkämpa hot mot de obemannade sjukvårdstransporterna. De svårast skadade patienterna placeras i MEDEVAC POD för att få bästa förutsättningar under transporten och vara under ständig övervakning.

Den tunga sjukvårdsgruppen fungerar som en skadeuppsamlingsplats och eftersom ett stort antal patienter behöver blodprodukter så allokeras tre logistik-UAV:er för att kontinuerligt flyga in medicinsk utrustning och blodprodukter till enheten. Varje farkost har med sig fyra enheter med blodprodukter och med en omloppstid på ca 20 min kan sjukvårdsgruppen hantera behovet som uppstår.

Efter fyra timmar är skadeplatsen återställd och alla skadade som behöver transporteras vidare har lämnat. De autonoma transporterna har tagit med sig sjukvårdsmateriel och används nu för att transportera den tunga sjukvårdsgruppen till sin utgångsgruppering.

Följande (fiktiva) autonoma plattformar skulle kunna användas i denna delvignette:

- Obemannad version a Strb90H (SAAB och Dockstavarvet genomför försök med obemannade versioner av denna).
- Obemannad konverterad version av G-båt som idag används för transport av soldatgrupp eller logistik UAV som kan bära upp till 8 kg last och kan starta och landa vertikalt (VTOL).

C.7 Slutsatser

Som ett diskussionsunderlag inför Nato-gruppens arbete identifierades även övergripande risker och möjligheter, se tabell C.1. En initial förmågegapsanalys genomfördes utifrån den beskrivna vignetten och resultatet presenteras i tabell C.2.

Forskningsbehov och andra frågeställningar identifierades¹, som rör möjligheterna att uppfylla delar av de identifierade förmågebehoven:

- Autonom AI-baserad logistikoptimering och ledningsstöd som inkluderar sjukvårdsbehoven av autonom CASEVAC med tillgängliga logistikplattformar.
- Införa möjlighet för plattformen att anpassa sig till olika "körprofilerbberoende på patienternas skadestatus.
- Automatiskt val av säkra landstigningsplatser för USV.
- Automatisk ruttplanering för UAV och USV för ökade smygegenskaper vid autonom evakuering.
- Sensorer och algoritmer för automatisk upptäckt av hinder och andra farkoster, samt undanmanövrer, med fokus på detektion på längre avstånd.

Ytterligare frågeställningar identifierades som ligger utanför Nato-gruppens mandat:

- Hur påverkar användningen av logistikplattformar möjligheterna att använda röda korssymbolen vid evakuering?

¹Denna initiala analys genomfördes som underlag inför diskussioner i Nato-gruppen. Den var inte avsedd att ge en heltäckande bild av de utmaningar som kvarstår för att realisera en RASEVAC-förmåga.

Tabell C.1 – Övergripande risker och möjligheter med RASEVAC.

Risker	Möjligheter
Etiska hänsynstaganden och bristande acceptans från medicinska samfundet rörande obemannad patienttransport och robotiserad vård under transport	Möjliggör en mer dold evakuering vilket reducerar risken för fientlig bekämpning under transport, samt att soldater kan fortsätta utföra sin huvuduppgift istället för att genomföra evakuering
Eventuellt ökad dödlighet under transport, ger inte samma möjlighet till avancerad vård jämfört med bemannad MEDEVAC med kvalificerad sjukvårdspersonal	En snabbare evakuering av skadade från skadeplats och skadeuppsamlingsplats, där adekvat vård inte kan ges för allvarligt skadade eller vid stora skadefall, ökar sannolikheten för överlevnad
Avsaknaden av standarder och riktlinjer för säker transport av skadade med USV och UGV, vilket ökar risken för att skador förvärras oavsiktligt under transport	Framtida MEDEVAC POD som potentiellt kan administrera motsvarande vårdnivå under förflyttning som strids-sjukvårdare kan ge
Fel i MEDEVAC POD:ens AI-algoritmer, elektronik eller biosensorer förhindrar adekvat omhändertagande under transport	Reducerar risk för personal vid bemannad evakuering i svåra miljöer och förhållanden, samt i kontaminerade miljöer

- Tekniska standarder och riktlinjer för hur plattformar kan operera och interagera, t.ex. luftrumsseparation, identifiering av egna och allierade plattformar, collision avoidance.
- Förmåga att operera i kluster och möjligheten att begära medicinska transporter vid behov.
- Multisensornavigeringssystem för USV och UAV i skärgårdsmiljöer i GNSS-störda miljöer, med möjlighet att endast använda passiva sensorer för dold transport.
- Robust smyganpassad kommunikation i telestörda miljöer.

Gruppen nådde konsensus gällande att obemannade system och tekniska hjälpmedel för autonom vård under evakuering bör användas för att stödja evakueringen och omhändertagandet av skadade. Nato behöver därför utveckla evidensbaserad kunskap och beslutsstöd till befälhavare för att de ska fatta välunderbyggda beslut, genom att skapa CONOPS, standarder och uppdragsplaneringsförmåga för att effektivt koordinera användningen av RASEVAC och omhändertagandet av skadade.

En ny aktivitet planeras att påbörjas under hösten 2020: Nato STO HFM-RTG-332 *Development and Implementation of Autonomous Transport and Medical Systems for Casualty Evacuation*. Inriktningen är att Försvarsmakten kommer att delta i det arbetet med stöd från FOI.

Tabell C.2 – Initial analys av förmågegap.

Förmågegap	Beskrivning
AI MEDEVAC POD	POD med biosensorer för hälsomonitorering och AI-baserade algoritmer som ger förslag till behandling under transport, som övervakas och/eller beslutas av kvalificerad vårdpersonal på distans (telemedicin) Standardiserade fästen och strömuttag för modular nyttolast (typer av POD), eller en standardiserad POD som kan användas på multipla plattformar POD som kan transporteras eller bogseras med lågt ytläge (<i>semi-submersible</i>), av en opportunistisk obemannad multirollplattform (mindre USV/UAV eller flera samverkande små multirotor UAV:er)
Autonoma plattformar	Multiroll-UAV med kapacitet att bära nyttolaster på 200-400 kg Lågkostnads VTOL logistik-UAV med möjlighet att bära 2-10 kg last Mindre UAV som kan flyga även i svåra väderförhållanden (t.ex. hård vind) Mindre USV för logistikändamål med litet djupgående (exempelvis en konverterad G-båt) Större USV med möjlighet att bära multipla MEDEVAC POD (exempelvis sjukvårdstransportversion av Strb90H)

Litteraturförteckning

- [1] ACC GROUP. Air Drone Range. <https://www.acc-group.se/products-air-drones> [Online; accessed 7 October 2020].
- [2] ACKERMAN, E. Three small stickers in intersection can cause tesla autopilot to swerve into wrong lane. <https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/three-small-stickers-on-road-can-steer-tesla-autopilot-into-oncoming-lane>, 2019. [Online; accessed 24 September 2020].
- [3] ADDISON, P. S., SMIT, P., JACQUEL, D., AND BORG, U. R. Continuous respiratory rate monitoring during an acute hypoxic challenge using a depth sensing camera. *J Clin Monit Comput* 34, 5 (2020), 1025–1033.
- [4] ALPMAN, M. Dräkten som ger dig robotstyrka. *Forskning & Framsteg*, 7 (2019).
- [5] AMELARD, R., SCHARFENBERGER, C., KAZEMZADEH, F., PFISTERER, K. J., LIN, B. S., CLAUSI, D. A., AND WONG, A. Feasibility of long-distance heart rate monitoring using transmittance photoplethysmographic imaging (ppgi). *Scientific Reports* 5, 1 (2015), 14637.
- [6] AMUKELE, T., NESS, P., TOBIAN, A., BOYD, J., AND STREET, J. Drone transportation of blood products. *The Journal of AABB Transfusion* (March 2017).
- [7] ANDERSSON, K., LUNDMARK, M., AND SILFVERSKIÖLD, S. The military utility assessment method for future technologies. Försvarshögskolan, 2019.
- [8] ANDERSSON, M. Här ska mediciner transporteras med drönare. SVT Nyheter, <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasterbotten/har-ska-mediciner-transporteras-med-dronare> [Online; accessed 7 October 2020], 2018.
- [9] ANISUZZAMAN, D. M., PATEL, Y., NIEZGODA, J., GOPALAKRISHNAN, S., AND YU, Z. A mobile app for wound localization using deep learning, 2020.
- [10] APPLE SIRI. Apples presentation av den virtuella assistenten Siri med exempel på vad Siri kan göra. <https://www.apple.com/in/siri/> [Online; accessed 18 October 2020], 2020.
- [11] ARRAS, J. Theory and bioethics. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. Zalta, Ed., winter 2016 ed. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2016.
- [12] ARTMAN, H., ALVÅ, P., AND PELO, J. AVAL 6.9.14 Reference manual. Tech. rep., Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R-4465--SE, 2017.
- [13] ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF AUTOMOTIVE MEDICINE. The Abbreviated Injury Scale (AIS), 2015. <https://www.aaam.org/abbreviated-injury-scale-ais/> [Online; accessed 8 October 2020].

- [14] ATHALYE, A., ENGSTROM, L., ILYAS, A., AND KWOK, K. Synthesizing robust adversarial examples. In *Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning (ICML)* (2018), vol. 80, pp. 284–293.
- [15] ATLAS ELEKTRONIK. ARCIMS USV. <https://www.atlas-elektronik.com/solutions/mine-warfare-systems/arcims.html> [Online; accessed 7 October 2020].
- [16] ATLS. *Advanced Trauma Life Support® Student Course Manual*, 10 ed. American College of Surgeons, 2018.
- [17] AUSTIN III, L. J. Joint Publication 3-30, Command and Control of Joint Air Operations. Washington, D.C.: Joint Staff. https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3_30.pdf [Online; accessed 26 October 2020], 2019.
- [18] AVY. Avy UAV. <https://www.avy.eu/stories/press-release-launch-of-the-avy-wing-drone> [Online; accessed 7 October 2020], 2019-11-28.
- [19] BAKER, M. S. Creating order from chaos: Part i: Triage, initial care, and tactical considerations in mass casualty and disaster response. *Military Medicine* 172, 3 (03 2007), 232–236.
- [20] BALAZS, R. NATO Trauma Registry—evidence based military medical care for the Alliance. In *Medical Corps International Forum* (2012), vol. 2, pp. 52–54.
- [21] BEAUCHAMP, T. L., AND CHILDRESS, J. F. *Principles of Biomedical Ethics*, 5 ed. New York: Oxford University Press, 2001.
- [22] BERGAN, B. Nasa’s new self-learning AI could save first responders - Audrey could reveal a newer, smarter generation of artificial intelligence. https://www.vice.com/en_us/article/3da55n/this-nasa-ai-will-sense-danger-save-firefighters-and-learn-from-mistakes [Online; accessed 26 October 2020], 2016.
- [23] BERLYAND, Y., RAJA, A., DORNER, S., PRABHAKAR, A., SONIS, J., GOTTUMUKKALA, R., SUCCI, M., AND YUN, B. How artificial intelligence could transform emergency department operations. *The American Journal of Emergency Medicine* 36 (01 2018).
- [24] BJERKAN, C., IVERSEN, P., ASAK, H., PILLGRAM-LARSEN, J., AND ROLANDSEN, B. Krig er alvor — sårede og fælne norske soldater i Afghanistan. *Tidsskrift for den Norske Lægeforening* 132, 9 (2012), 1076.
- [25] BLIMARK, M., ÖRTENWALL, P., LÖNROTH, H., MATTSSON, P., BOF-FARD, K. D., AND ROBINSON, Y. Swedish emergency hospital surgical surge capacity to mass casualty incidents. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 28, 12 (2020), 1–6.
- [26] BOARD, D. I. AI-principles: Recommendations on the ethical use of artificial intelligence by the department of defense. https://media.defense.gov/2019/Oct/31/2002204458/-1/-1/0/DIB_AI_PRINCIPLES_PRIMARY_DOCUMENT.PDF [Online; accessed 20 October 2020], 2019.
- [27] BOSTON DYNAMICS. Atlas robot. <https://www.bostondynamics.com/atlas> [Online; accessed 17 October 2020].

- [28] BOUNYONG, S., YOSHIOKA, M., AND OZAWA, J. Monitoring of a driver's heart rate using a microwave sensor and template-matching algorithm. In *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)* (2017), pp. 43–44.
- [29] BRESNICK, J. Top 12 ways artificial intelligence will impact healthcare. <https://healthitanalytics.com/news/top-12-ways-artificial-intelligence-will-impact-healthcare> [Online; accessed 26 October 2020], 2018.
- [30] BREWER, R. D., AND SALISBURY, J. K. Visual vein-finding for robotic IV insertion. In *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (2010), IEEE, pp. 4597–4602.
- [31] BUENDIA, R., CANDEFJORD, S., SANCHEZ, B., GRANHED, H., SJÖQVIST, B. A., ÖRTENWALL, P., AND CARAGOUNIS, E. C. Bioimpedance technology for detection of thoracic injury. *Physiol Meas* 38, 11 (2017), 2000–2014.
- [32] BUNZ, K. Diese App rettet Leben: AMI (Artificial Medical Intelligence) für kurze Zeit kostenlos. https://www.chip.de/news/Diese-App-rettet-Leben-AMI-Artificial-Medical-Intelligence-fuer-kurze-Zeit-kostenlos_145998849.html [Online; accessed 26 October 2020], 2018.
- [33] CARLINI, N., AND WAGNER, D. Audio adversarial examples: Targeted attacks on speech-to-text. In *IEEE Security and Privacy Workshops (SPW)* (2018), pp. 1–7.
- [34] CELAYA, A., AND YEUNG, N. The brain and the processor: Unpacking the challenges of human-machine interaction. Tech. rep., NATO Defense College, 2019.
- [35] CHAIRMAN OF THE JOINT CHIEFS OF STAFF. Guidance for Developing and Implementing Joint Concepts, Aug. 2016. CJCSI 3010.02E.
- [36] CHALMERS. Projektet TRALLA. www.chalmers.se/sv/projekt/Sidor/TRALLAQ-Transport-av-lQtta-laster-lQnga-avstQnd.aspx [Online; accessed 7 October 2020], 2019-10-04.
- [37] CHAMPION, H., BELLAMY, R., ROBERTS, C., AND LEPPANIEMI, A. A profile of combat injury. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 54, 5 (2003), S13–S19.
- [38] CHAMPION, H., AND LAWNICK, M. Coding of the WDMET Database. Tech. rep., Tech Med Inc Annapolis MD, 2006.
- [39] CHEN, L., MCKENNA, T. M., REISNER, A. T., GRIBOK, A., AND REIFMAN, J. Decision tool for the early diagnosis of trauma patient hypovolemia. *Journal of Biomedical Informatics* 41, 3 (2008), 469 – 478. Computerized Decision Support for Critical and Emergency Care.
- [40] CHENG, J., WANG, X., SONG, R., LIU, Y., LI, C., AND CHEN, X. Exploring the feasibility of seamless remote heart rate measurement using multiple synchronized cameras. *Multimedia Tools and Applications* 79, 31 (2020), 23023–23043.

- [41] CHENG, Z., DAVIES, B. L., CALDWELL, D. G., BARRESI, G., XU, Q., AND MATTOS, L. S. A hand-held robotic device for peripheral intravenous catheterization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine* 231, 12 (2017), 1165–1177.
- [42] CHILAMKURTHY, S., GHOSH, R., TANAMALA, S., BIVIJ, M., CAMPEAU, N. G., VENUGOPAL, V. K., MAHAJAN, V., RAO, P., AND WARRIER, P. Deep learning algorithms for detection of critical findings in head CT scans: a retrospective study. *The Lancet* 392, 10162 (2018), 2388–2396.
- [43] CHO, Y., JULIER, S. J., MARQUARDT, N., AND BIANCHI-BERTHOUSSE, N. Robust tracking of respiratory rate in high-dynamic range scenes using mobile thermal imaging. *Biomed. Opt. Express* 8, 10 (Oct 2017), 4480–4503.
- [44] CHOLLET, F. *Deep Learning with Python*. Manning Publications Company, 2017.
- [45] CLARK, J., AND AMODEI, D. Faulty reward functions in the wild. <https://openai.com/blog/faulty-reward-functions/> [Online; accessed 20 October 2020].
- [46] CLARKE, J., HAYWARD, C., SANTORA, T., WAGNER, D., AND WEBBER, B. Computer-generated trauma management plans: Comparison with actual care. *World journal of surgery* 26 (05 2002), 536–538.
- [47] CLIFTON, D. A., WONG, D., CLIFTON, L., WILSON, S., WAY, R., PULLINGER, R., AND TARASSENKO, L. A large-scale clinical validation of an integrated monitoring system in the emergency department. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* 17, 4 (2013), 835–842.
- [48] COATES, J., BEYER, J., AND HEATON, L. Medical Department, United States Army. Wound Ballistics for World War II. Tech. rep., Office of the Surgeon General (ARMY) Washington DC, 1962.
- [49] CONVERTINO, V., MOULTON, S., GRUDIC, G., RICKARDS, C., HINOJOSA-LABORDE, C., GERHARDT, R., BLACKBOURNE, L., AND RYAN, K. Use of advanced machine-learning techniques for noninvasive monitoring of hemorrhage. *The Journal of trauma* 71 (07 2011), S25–32.
- [50] CURTIS, D., PINO, E., BAILEY, J., SHIH, E., WATERMAN, J., VINTERBO, S., STAIR, T., GUTTAG, J., GREENES, R., AND OHNO-MACHADO, L. SMART-An Integrated Wireless System for Monitoring Unattended Patients. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 15, 1 (1 2008), 44–53.
- [51] DALE, R. The return of the chatbots. *Natural Language Engineering* 22, 5 (2016), 811–817.
- [52] DANG, T. T., NGUYEN TRAN, K. Q., LE, H. M., TRAN, K., AND DINH, A. A tool using ultrasonic sensor for measuring breathing rate. In *6th International Conference on the Development of Biomedical Engineering in Vietnam (BME6)* (Singapore, 2018), T. Vo Van, T. A. Nguyen Le, and T. Nguyen Duc, Eds., Springer Singapore, pp. 139–143.

- [53] DANKS, D., AND LONDON, A. J. Algorithmic bias in autonomous systems. In *IJCAI* (2017), pp. 4691–4697.
- [54] DAVE, A., CAGNIART, K., AND HOLTKAMP, M. D. A case for telestroke in military medicine: a retrospective analysis of stroke cost and outcomes in us military health-care system. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases* 27, 8 (2018), 2277–2284.
- [55] DAVIS, M. R., AND GILBERT, G. R. Field telemedicine expanding artificial intelligence - balancing autonomy and combat casualty care. *Combat & Casualty Care spring* (2018).
- [56] DAVIS, M. W. R., RASMUSSEN, T. E., AND HOLCOMB, B. R. The new reckoning: The combat casualty care research program responds to real and present challenges in military operational projections. *The journal of trauma and acute care surgery* 85 1S Suppl 2 (2018), S1–S3.
- [57] DEFENCE, T. The EXINT Pod. <https://www.thinkdefence.co.uk/2014/04/exint-pod/> [Online; accessed 26 October 2020], April 2014.
- [58] DO, T. N., SEAH, T. E. T., AND PHEE, S. J. Design and control of a mechatronic tracheostomy tube for automated tracheal suctioning. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 63, 6 (2016), 1229–1238.
- [59] DSTO. Ox-operational exoskeleton. reducing the soldier’s burden. https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/opportunities/documents/ExoSkeleton_fact%20sheet.pdf [Online; accessed 7 October 2020].
- [60] EASTRIDGE, B., COSTANZO, G., JENKINS, D., SPOTT, M., WADE, C., GREYDANUS, D., FLAHERTY, S., RAPPOLD, J., DUNNE, J., HOLCOMB, J., ET AL. Impact of joint theater trauma system initiatives on battlefield injury outcomes. *The American journal of surgery* 198, 6 (2009), 852–857.
- [61] EATON, J., REDMAYNE, J., AND THORDSEN, M. *Joint Analysis Handbook*, 4th ed. NATO Joint Analysis and Lessons Learned Centre, Feb. 2016.
- [62] ECA GROUP. Inspector 125 USV. <https://www.ecagroup.com/en/solutions/unmanned-surface-vehicle-inspector-125> [Online; accessed 7 October 2020].
- [63] ECKSTEIN, M. Textron’s Common USV Ready for Production, Experimenting with Lethal Surface Warfare Payloads. <https://news.usni.org/2020/01/22/textrons-common-usv-ready-for-production-experimenting-with-lethal-surface-warfare-payloads> [Online; accessed 7 October 2020], 2020-01-22.
- [64] EKEN, C., BILGE, U., KARTAL, M., AND ERAY, O. Artificial neural network, genetic algorithm, and logistic regression applications for predicting renal colic in emergency settings. *International journal of emergency medicine* 2 (06 2009), 99–105.
- [65] ELEVELD, D. J., PROOST, J. H., AND WIERDA, J. M. K. H. Evaluation of a closed-loop muscle relaxation control system. *Anesthesia & Analgesia* 101, 3 (2005), 758–764.

- [66] ELSHOVE-BOLK, J., MENCL, F., VAN RIJSWIJCK, B. T. F., SIMONS, M. P., AND VAN VUGT, A. B. Validation of the emergency severity index (esi) in self-referred patients in a european emergency department. *Emergency Medicine Journal* 24, 3 (2007), 170–174.
- [67] ERIKSSON, G., HOLM, P., HANSSON, A., NILSSON, J., AND RANTAKOKKO, J. Robust och störtlåg kommunikation för obemannade farkoster – utmaningar och möjligheter. Tech. rep., Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R-4895-SE, 2019.
- [68] Kommissionens genomförandeförordning (EU) 2017/2185 av den 23 november 2017 om förteckningen över koder och motsvarande produkttyper för att specificera omfattningen för de anmälda organens utseende inom området för medicintekniska produkter enligt Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2017/745 och inom området för medicintekniska produkter för in vitro-diagnostik enligt Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2017/746. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R2185> [Online; accessed 7 October 2020].
- [69] Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2017/745 av den 5 april 2017 om medicintekniska produkter, om ändring av direktiv 2001/83/EG, förordning (EG) nr 178/2002 och förordning (EG) nr 1223/2009 och om upphävande av rådets direktiv 90/385/EEG och 93/42/EEG. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0745&from=EN> [Online; accessed 7 October 2020].
- [70] EVTOL. Vahana’s final flight. <https://evtol.com/video/airbus-vahana-final-flight/> [Online; accessed 7 October 2020], 2019.
- [71] EYKHOLT, K., EVTIMOV, I., FERNANDES, E., LI, B., RAHMATI, A., XIAO, C., PRAKASH, A., KOHNO, T., AND SONG, D. Robust physical-world attacks on deep learning visual classification. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (2018).
- [72] FELLOWBOT. Ambulansdistribution med AI. <https://www.fellowbot.com/ambulance-distribution-program> [Online; accessed 7 October 2020].
- [73] FFS 2019:4 FÖRESKRIFTER OM FOLKRÄTT, FÖRSVARETS FÖRFATTNINGSSAMLING (2 § OCH 3 § KAP. 2). Stockholm: Försvarsmakten. <https://www.forsvarsmakten.se/siteassets/4-om-myndigheten/dokumentfiler/lagrum/gallande-ffs-2014-/ffs-2019-4.pdf> [Online; accessed 26 October 2020].
- [74] FHAGER, A., CANDEFJORD, S., ELAM, M., AND PERSSON, M. 3D Simulations of Intracerebral Hemorrhage Detection Using Broadband Microwave Technology. *Sensors (Basel)* 19, 16 (2019).
- [75] FINLAYSON, S. G., CHUNG, H. W., KOHANE, I. S., AND BEAM, A. L. Adversarial attacks against medical deep learning systems. *arXiv preprint arXiv:1804.05296* (2018).
- [76] FINN, C., ABBEEL, P., AND LEVINE, S. Model-agnostic meta-learning for fast adaptation of deep networks. In *Proc. of the 34th Intl. Conf. on Machine Learning (ICML 17)* (2017), pp. 1126–1135.

- [77] FISCHER, N. Medical operations in the multidomain battlefield. US Army, https://www.army.mil/article/184593/medical_operations_in_the_multidomain_battlefield [Online; accessed 8 October 2020].
- [78] FISCHER, N., AND GILBERT, G. Unmanned systems in support of future medical operations in dense urban environments. *Small Wars Journal* (2016).
- [79] FISHER, N., GILBERT, G., NIGHTINGALE, K., WOODS, D. J., CLARKE, T. M., GANDY, C., SULLIVAN, J. P., BUNKER, R., SHAPOO, S. F., WILKINS, S., ET AL. Medical robotic and autonomous system technology enablers for the multi-domain battle 2030-2050. *Small War Journal* (2017).
- [80] FITZGERALD, M., CAMERON, P., MACKENZIE, C., FARROW, N., SCICLUNA, P., GOCENTAS, R., BYSTRZYCKI, A., LEE, G., O'REILLY, G., ANDRIANOPOULOS, N., DZIUKAS, L., ET AL. Trauma resuscitation errors and computer-assisted decision support. *Archives of Surgery* 146 (01 2011), 218–225.
- [81] FLIGHT INTERNATIONAL. UK test fits Avpro Exint pod on Harrier. <https://www.flightglobal.com/uk-test-fits-avpro-exint-pod-on-harrier/23326.article> [Online; accessed 26 October 2020], September 1998.
- [82] FLIGHT INTERNATIONAL. Exint cleared for AH-64 as production starts. <https://www.flightglobal.com/exint-cleared-for-ah-64-as-production-starts/30279.article> [Online; accessed 26 October 2020], January 2000.
- [83] FORSÉN, R., HOLM, G., AND KAMRANI, F. Description of calculation methods used in VEBE, to determine the effects and consequences of conventional weapons. Tech. rep., Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R-4131-SE, 2015.
- [84] FRANCO, J. U.S.-Canada AI partnership aims to help first responders MeriTalk. <https://www.meritalk.com/articles/u-s-canada-ai-partnership-aims-to-help-first-responders/>, 2018.
- [85] FRANSSEN, M., LOKHORST, G.-J., AND VAN DE POEL, I. Philosophy of technology. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. Zalta, Ed., fall 2018 ed. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2018.
- [86] FREEDBERG JR., S. K-MAX RoboCopter Comes Home To Uncertain Future. Breaking Defense, <https://breakingdefense.com/2014/07/k-max-robocopter-comes-home-to-uncertain-future> [Online; accessed 7 October 2020].
- [87] FRIEDL, K. E. Military applications of soldier physiological monitoring. *Journal of Science and Medicine in Sport* 21, 11 (2018), 1147–1153.
- [88] FRISINA, M. E. The offensive-defensive distinction in military biological research. *The Hastings Center Report* 20, 3 (1990), 19–22.
- [89] FÖRSVARSDEPARTEMENTET. *Samförståndsavtal med Nato om världandsstöd*. Regeringskansliet, 2015.

- [90] FÖRSVARSMAKTEN. Försvarsmaktens ordlista. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/ordlista/#/word/autonoma-farkoster> [Online; accessed 7 October 2020].
- [91] FÖRSVARSMAKTEN. Försvarsmaktens grundsyn logistik. Stockholm, 2007.
- [92] FÖRSVARSMAKTEN. *FMR Sjtpled n – Försvarsmaktsreglemente Sjuktransportledning*. 2013.
- [93] FÖRSVARSMAKTEN. *FMR Fömed G – Försvarsmaktsreglemente Försvarsmedicin Grunder*. 2014.
- [94] FÖRSVARSMAKTEN. *H Nomen LED – Handbok Nomenklatur Ledning*. 2016.
- [95] FÖRSVARSMAKTEN. *MSD16 – Militärstrategisk doktrin*. No. M7739-354028. 2016.
- [96] FÖRSVARSMAKTEN. *DGO 2020 – Doktrin för gemensamma operationer*. No. M7739-354030. 2020.
- [97] FÖRSVARSMAKTEN. *H Nomen LOG – Handbok Nomenklatur Logistik*. 2020.
- [98] FÖRSVARSMAKTEN. *H Stud – Handbok i studiemetodik*. 2020.
- [99] FÖRSVARSMAKTEN. *IFoU21 – Inriktning av forskning och utveckling inom Försvarsmakten 2021-2025*. No. FM2019-15634. 2020.
- [100] FÖRSVARSMAKTEN. Teknik som räddar liv. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/aktuellt/2020/10/teknik-som-raddar-liv/> [Online; accessed 20 October 2020], 2020-10-20.
- [101] GELLERFORS, M., AND LINDE, J. Svensk militär sjukvård i afghanistan håller toppklass - prehospitalt tränade narkosläkare tidigt i vårdkedjan är en grund. *Läkartidningen* 111, 7 (2014), 272–274.
- [102] GENERAL DYNAMICS LAND SYSTEMS (GDLS). MUTT UGV. <https://www.gdls.com//products/tracked-combat/MUTT.html> [Online; accessed 7 October 2020].
- [103] GENTILINI, A., SCHANIEL, C., MORARI, M., BIENIOK, C., WYMAN, R., AND SCHNIDER, T. A new paradigm for the closed-loop intraoperative administration of analgesics in humans. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 49, 4 (2002), 289–299.
- [104] GEORGE, E. I., BRAND, T. C., LAPORTA, A., MARESCAUX, J., AND SATAVA, R. Origins of robotic surgery: from skepticism to standard of care. *JSL: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons* 22, 4 (2018).
- [105] GHANBARI, L., RYNES, M. L., HU, J., SCHULMAN, D. S., JOHNSON, G. W., LAROQUE, M., SHULL, G. M., AND KODANDARAMAIAH, S. B. Craniobot: A computer numerical controlled robot for cranial microsurgies. *Scientific Reports* 9, 1 (2019), 1023.

- [106] GOEBEL, R., CHANDER, A., HOLZINGER, K., LECUE, F., AKATA, Z., STUMPF, S., KIESEBERG, P., AND HOLZINGER, A. Explainable AI: the new 42? In *2nd International Cross-Domain Conference for Machine Learning and Knowledge Extraction (CD-MAKE)* (2018), vol. LNCS-11015 of *Machine Learning and Knowledge Extraction*, pp. 295–303.
- [107] GONZALEZ, R. The Cadillac of First Aid Kits Could Turn Civilians into Life-Savers. <https://www.wired.com/story/the-cadillac-of-first-aid-kits-could-turn-civilians-into-life-savers/>, 2017.
- [108] GOODFELLOW, I., SHLENS, J., AND SZEGEDY, C. Explaining and harnessing adversarial examples. In *International Conference on Learning Representations (ICLR)* (2015).
- [109] GOODMAN, B., AND FLAXMAN, S. European Union regulations on algorithmic decision-making and a “right to explanation”. *AI Magazine* 38, 3 (2017), 50–57.
- [110] GRAGG, T., BEAUDETTE, D., DITTMAR, J., AND HENLEY, M. Drone Dr - Remote Triage. <https://devpost.com/software/drone-dr-remote-triage>, 2018.
- [111] GRANT, K., AND MCPARLAND, A. Applications of artificial intelligence in emergency medicine. *University of Toronto medical journal* 96 (01 2019).
- [112] GREGG, H. S. The human domain and influence operations in the 21st century. *Special Operations Journal* 2 (2016), 92–105.
- [113] GRIFFIN, M. US military starts trialling robotic surgeons in the battlefield. <https://www.fanaticalfuturist.com/2018/07/us-military-starts-trialling-robotic-surgeons-in-the-battlefield/>, 2018.
- [114] GUAZZI, A. R., VILLARROEL, M., JORGE, J., DALY, J., FRISE, M. C., ROBBINS, P. A., AND TARASSENKO, L. Non-contact measurement of oxygen saturation with an rgb camera. *Biomed Opt Express* 6, 9 (2015), 3320–38.
- [115] GUSTAFSSON, C. Den försvarsmedicinska bron : hur påverkar försvarsmedicinsk planering svensk försvarsplanering och genomförande av militära operationer? Master’s thesis, Swedish Defence University, Swedish Defence University, 2020.
- [116] HARNETT, B. M., DOARN, C. R., ROSEN, J., HANNAFORD, B., AND BRODERICK, T. J. Evaluation of unmanned airborne vehicles and mobile robotic telesurgery in an extreme environment. *Telemedicine and e-Health* 14, 6 (2008), 539–544.
- [117] HARTE, J., GOLBY, C., ACOSTA, J., NASH, E., KIRACI, E., WILLIAMS, M., ARVANITIS, T., NAIDU, B., HARTE, J. M., GOLBY, C. K., NASH, E. F., WILLIAMS, M. A., AND ARVANITIS, T. N. Chest wall motion analysis in healthy volunteers and adults with cystic fibrosis using a novel kinect-based motion tracking system. *Medical & Biological Engineering & Computing* 54, 11 (2016), 1631 – 1640.
- [118] HASEMYER, D. U.S. Soldiers Falling Ill, Dying in the Heat as Climate Warms. <https://insideclimatenews.org/news/23072019/military-heat-death-illness-climate-change-risk-security-global->

- warming-benning-bragg-chaffee [Online; accessed 26 October 2020], 2019.
- [119] HE, Y., SHIRAKABE, S., SATOH, Y., AND KATAOKA, H. Human action recognition without human. *European Conference on Computer Vision (ECCV) Workshop: Brave New Idea* (2016).
 - [120] HEALTH.MIL NEWS. Unleashing innovation to support field medics, corpsmen. <https://health.mil/News/Articles/2019/09/13/Unleashing-innovation-to-support-field-medics-corpsmen?page=5#pagingAnchor> [Online; accessed 7 October 2020], 2019-09-13.
 - [121] HEMMERLING, T. M., ARBEID, E., WEHBE, M., CYR, S., TADDEI, R., AND ZAOUTER, C. Evaluation of a novel closed-loop total intravenous anaesthesia drug delivery system: a randomized controlled trial. *British Journal of Anaesthesia* 110, 6 (2013), 1031–9.
 - [122] HEMMERLING, T. M., TADDEI, R., WEHBE, M., ZAOUTER, C., CYR, S., AND MORSE, J. First robotic tracheal intubations in humans using the kepler intubation system. *British Journal of Anaesthesia* 108, 6 (03 2012), 1011–1016.
 - [123] HEMMERLING, T. M., AND TERRASINI, N. Robotic anesthesia : not the realm of science fiction any more. *Current Opinion in Anaesthesiology* 25, 6 (12 2012), 736–742.
 - [124] HENDRY, L. AI partnership for paramedics ends. <https://www.intelligencer.ca/news/local-news/ai-partnership-for-paramedics-continues> [Online; accessed 26 October 2020], 2019.
 - [125] HENRY, J. How NASA is using artificial intelligence to save lives of firefighters, first responders. <https://www.pasadenastarnews.com/2016/08/14/how-nasa-is-using-artificial-intelligence-to-save-lives-of-firefighters-first-responders/> [Online; accessed 26 October 2020], 2017.
 - [126] HEYDENBURG, N. How AI can help in battlefield healthcare. <https://militaryembedded.com/ai/big-data/how-ai-can-help-in-battlefield-healthcare> [Online; accessed 26 October 2020], 2019.
 - [127] HINTON, G. E., AND SALAKHUTDINOV, R. R. Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science* 313, 5786 (2006), 504–507.
 - [128] HOFFMAN, F., AND DAVIES, M. C. Joint forces 2020 and the human domain: Time for a new conceptual framework? *Small Wars Journal* (2013), 1–13.
 - [129] HOFFMAN, R. R., MILLER, T., MUELLER, S. T., KLEIN, G., AND CLANCEY, W. J. Explaining explanation, part 4: A deep dive on deep nets. *IEEE Intelligent Systems* 33, 3 (2018), 87–95.
 - [130] HOFFMAN, R. R., MUELLER, S. T., KLEIN, G., AND LITMAN, J. Metrics for explainable AI: Challenges and prospects. *arXiv e-prints* (2018), arXiv:1812.04608.

- [131] HØIER-MADSEN, K., JØRGENSEN, H., SØRENSEN, J., AND STOKKEBYE, J. Skader og død hos udsendte danske soldater. *Ugeskrift for Læger* 172, 2 (2010), 128–132.
- [132] HOMELAND SECURITY NEWS WIRE. Evaluate AI capabilities in helping paramedics Homeland Security News Wire. <http://www.homelandsecuritynewswire.com/dr20190816-evaluate-ai-capabilities-in-helping-paramedics> [Online; accessed 26 October 2020], 2019.
- [133] HSU, K., LEVINE, S., AND FINN, C. Unsupervised learning via meta-learning. In *Proc. of the 7th Intl. Conf. on Learning Representations (ICLR 19)* (2019).
- [134] IBM. Watson Assistant - Build an assistant that your customers actually want to use. <https://www.ibm.com/se-en/cloud/watson-assistant> [Online; accessed 18 October 2020]. Hemsida för IBMs Watson Assistant som kan användas till att utveckla virtuella assistenter.
- [135] INSTITUT POLYTECHNIQUE. Traumatrix: Applying AI to the care of major trauma patients. <https://www.polytechnique.edu/en/content/traumatrix-applying-ai-care-major-trauma-patients> [Online; accessed 26 October 2020], 2019.
- [136] IRVING, M. Help from above: An AI that watches over first responders. <https://newatlas.com/audrey-ai-firefighters/44889/> [Online; accessed 26 October 2020], 2016.
- [137] JAIN, T., SIBLEY, A., STRYHN, H., AND HUBLOUE, I. Comparison of unmanned aerial vehicle technology-assisted triage versus standard practice in triaging casualties by paramedic students in a mass-casualty incident scenario. *Prehospital and disaster medicine* 33, 4 (2018), 375–380.
- [138] JENKINS, P., LUNDAY, B., AND ROBBINS, M. Artificial intelligence for medical evacuation in great-power conflict. War On The Rocks, 2020-09-22. <https://warontherocks.com/2020/09/artificial-intelligence-for-medical-evacuation-in-great-power-conflict/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [139] JENNY, M., HERTWIG, R., ACKERMANN, S., MESSMER, A., KARAKOUMIS, J., NICKEL, C., AND BINGISSER, R. Are mortality and acute morbidity in patients presenting with nonspecific complaints predictable using routine variables? *Academic Emergency Medicine* 22, 10 (09 2015), 1155–1163.
- [140] JENTSCH (ED.), F., AND BARNES (ED.), M. *Human-Robot Interactions in Future Military Operations*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2017.
- [141] JONES, S. Rewarding Work: ONR Autonomous System Finalist for Aviation Award. Office of Naval Research, <https://www.onr.navy.mil/en/Media-Center/Press-Releases/2018/AACUS-Robert-Collier-Trophy> [Online; accessed 7 October 2020].
- [142] JONSEN, A. R. Casuistry: An alternative or complement to principles? *Kennedy Institute of Ethics Journal* 5, 3 (1995), 237–251.

- [143] KADO, S., MONNO, Y., YOSHIZAKI, K., TANAKA, M., AND OKUTOMI, M. Spatial-spectral-temporal fusion for remote heart rate estimation. *IEEE Sensors Journal* 20, 19 (2020), 11688–11697.
- [144] KAMAN AEROSPACE, AND LOCKHEED-MARTIN. K-MAX® Unmanned Aircraft System - Optionally Piloted Cargo Lift Helicopter for the War-fighter. <https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/rms/documents/k-max/K-MAX-brochure.pdf> [Online; accessed 7 October 2020].
- [145] KAMAN CORPORATION. KAMAN K-MAX® Advances Civil and Military Autonomous Flight Programs. <https://www.kaman.com/news/kaman-k-max%C2%AE-advances-civil-and-military-autonomous-flight-programs> [Online; accessed 7 October 2020], 2020-01-28.
- [146] KANOWITZ, S. AI-enabled voice assistance for responders. <https://gcn.com/articles/2019/09/25/ai-audrey-responders.aspx> [Online; accessed 26 October 2020], 2019.
- [147] KELLY, D., CONDELL, J., CURRAN, K., AND CAULFIELD, B. A multi-modal smartphone sensor system for behaviour measurement and health status inference. *Information Fusion* 53 (2020), 43–54.
- [148] KELLY, J., RITENOUR, A., McLAUGHLIN, D., BAGG, K., APODACA, A., MALLAK, C., PEARSE, L., LAWNICK, M., CHAMPION, H., WADE, C., ET AL. Injury severity and causes of death from operation iraqi freedom and operation enduring freedom: 2003–2004 versus 2006. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 64, 2 (2008), S21–S27.
- [149] KHODADADEH, S., BÖLÖNI, L., AND SHAH, M. Unsupervised meta-learning for few-shot image and video classification. In *Proc. of the 33rd Conf. on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019)* (2019).
- [150] KHOE, Y.-S., VAN DER JAGT-DEUTEKOM, M., SOULLIÉ, T., AND VAN DER HORST, M. Assessing the consequences on task performance due to the kinetic threat. In *PASS 2018. Washington* (2018).
- [151] KIM, J., LEE, G., HEIMGARTNER, R., ARUMUKHOM REVI, D., KARAVAS, N., NATHANSON, D., GALIANA, I., ECKERT-ERDHEIM, A., MURPHY, P., PERRY, D., MENARD, N., CHOE, D. K., MALCOLM, P., AND WALSH, C. J. Reducing the metabolic rate of walking and running with a versatile, portable exosuit. *Science* 365, 6454 (2019), 668–672.
- [152] KITE-POWELL, J. These technology startups help first responders and shorten 911 response times. <https://www.forbes.com/sites/jenniferhicks/2018/11/17/these-technology-startups-help-first-responders-and-shortens-911-response-times/#3638ae496786> [Online; accessed 26 October 2020], 2018.
- [153] KOKINAKIS, W., AND SPERRAZZA, J. Criteria for incapacitating soldiers with fragments and flechettes. Tech. rep., Army Ballistic Research Lab Aberdeen Proving Ground MD, 1965.
- [154] KONERT, A., SMEREKA, J., AND SZARPAK, L. The use of drones in emergency medicine: Practical and legal aspects. *Emergency Medicine International* (December 2019).

- [155] KORLEY, F. K., PHAM, J. C., AND KIRSCH, T. D. Use of advanced radiology during visits to us emergency departments for injury-related conditions, 1998-2007. *Jama* 304, 13 (2010), 1465–1471.
- [156] KOTWAL, R. S., HOWARD, J. T., ORMAN, J. A., TARPEY, B. W., BAILEY, J. A., CHAMPION, H. R., MABRY, R. L., HOLCOMB, J. B., AND GROSS, K. R. The Effect of a Golden Hour Policy on the Morbidity and Mortality of Combat Casualties. *JAMA Surgery* 151, 1 (01 2016), 15–24.
- [157] KRAKA. Kraka jet board. https://static1.squarespace.com/static/5c505f875b409ba8ff9f1046/t/5f5362675ff56448e9587e8d/1599300205539/Folder_Kraka_Stealth_Jeat_Board_2020_8sid_.pdf [Online; accessed 7 October 2020].
- [158] LAM, D. International military medical standardization—status and prospects. In *The Impact of NATO/Multinational Military Missions on Health Care Management*, no. RTO-MP-068. NATO Research and Technology Organization, 2001, ch. 16, pp. 1–9.
- [159] LANE, I., STOCKINGER, Z., SAUER, S., ERVIN, M., WIRT, M., BREE, S., GROSS, K., BAILEY, J., HODGETTS, T., ELIZABETH, M.-S., AND HODGETTS, B. T. The afghan theater: A review of military medical doctrine from 2008 to 2014. *Military Medicine Supplement, Vol. 182* (2017), 32–40.
- [160] LAPUSCHKIN, S., WÄLDCHEN, S., BINDER, A., MONTAVON, G., SAMEK, W., AND MULLER, K. Unmasking Clever Hans predictors and assessing what machines really learn. *Nature Communications* 10, 1 (2019).
- [161] LARSSON, S., AND RUNESON, P., Eds. *DigiTrust: Tillit i det digitala. Tvärvetenskapliga perspektiv från ett forskningsprojekt*. The Pufendorf Institute for Advanced Studies, Lund University. Pufendorfinstitutet, Lunds universitet, 2014.
- [162] LAZAR, S. War. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. N. Zalta, Ed., spring 2020 ed. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2020.
- [163] LERNOULD, C. MIC: Soldier vulnerability automatic simulator. In *European survivability Workshop. 2002. Köln-Wahn, Germany* (2002).
- [164] LEVIN, S., TOERPER, M., HAMROCK, E., HINSON, J., BARNES, S., GARDNER, H., DUGAS, A., LINTON, B., KIRSCH, T., AND KELEN, G. Machine-learning-based electronic triage more accurately differentiates patients with respect to clinical outcomes compared with the emergency severity index. *Annals of Emergency Medicine* 71, 5 (09 2017).
- [165] LING, G., AND DRAGHIC, N. Aerial drones for blood delivery. *The Journal of AABB Transfusion* (April 2019).
- [166] LIU, N., KOH, Z., CHUA, E., TAN, L., LIN, Z., MIRZA, B., AND ONG, M. Risk scoring for prediction of acute cardiac complications from imbalanced clinical data. *IEEE journal of biomedical and health informatics* 18, 6 (11 2014), 1894–1902.

- [167] LIU, N., KOH, Z., GOH, J., LIN, Z., HAALAND, B., TING, B., AND ONG, M. Prediction of adverse cardiac events in emergency department patients with chest pain using machine learning for variable selection. *BMC medical informatics and decision making* 14 (08 2014), 75.
- [168] LIU, N., LIN, Z., CAO, J., KOH, Z., ZHANG, T., HUANG, G.-B., SER, W., AND ONG, M. An intelligent scoring system and its application to cardiac arrest prediction. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* 16, 6 (12 2012), 1324–1331.
- [169] LIU, N., ZHANG, Z., HO, A., AND ONG, M. Artificial intelligence in emergency medicine. 82–82.
- [170] LJUNGQVIST, J., CANDEFJORD, S., PERSSON, M., JÖNSSON, L., SKOGLUND, T., AND ELAM, M. Clinical evaluation of a microwave-based device for detection of traumatic intracranial hemorrhage. *Journal of Neurotrauma* 34, 13 (2017), 2176–2182.
- [171] LOCKHEED MARTIN. Exoskeleton technologies: Military. <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/military.html> [Online;accessed 18 September 2020].
- [172] LOCKHEED MARTIN. Human Universal Load Carrier (HULC). <https://www.army-technology.com/projects/human-universal-load-carrier-hulc/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [173] LOKRANTZ, M., AND JÖNSSON, L. Smarta fartyg – en självkörande sjöfartsmarknad utan hinder? Tech. rep., Transportstyrelsen, Dnr TSS 2019-3964, 2019.
- [174] LORATO, I., STUIJK, S., MEFTAH, M., KOMMERS, D., ANDRIESSEN, P., VAN PUL, C., AND DE HAAN, G. Multi-camera infrared thermography for infant respiration monitoring. *Biomed. Opt. Express* 11, 9 (Sep 2020), 4848–4861.
- [175] LUOTSINEN, L., OSKARSSON, D., SVENMARCK, P., AND BOLIN, U. W. Explainable Artificial Intelligence: Exploring XAI Techniques in Military Deep Learning Applications. Tech. rep., Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R-4849-SE, 2020.
- [176] MACKENZIE, C., HU, P., SEN, A., DUTTON, R., SEEBODE, S., FLOCCARE, D., AND SCALEA, T. Automatic pre-hospital vital signs waveform and trend data capture fills quality management, triage and outcome prediction gaps. *AMIA ... Annual Symposium proceedings / AMIA Symposium. AMIA Symposium 2008* (11 2008), 318–22.
- [177] MAGDIN, M., BENKO, L., AND KOPRDA, S. A case study of facial emotion classification using affdex. *Sensors* 19, 9 (2019), 17.
- [178] MARTINIC, G., ET AL. Glimpses of future battlefield medicine-the proliferation of robotic surgeons and unmanned vehicles and technologies. *Journal of Military and Veterans Health* 22, 3 (2014), 4.
- [179] MATSUNAG, D., IZUMI, S., OKUNO, K., KAWAGUCHI, H., AND YOSHIMOTO, M. Non-contact and noise tolerant heart rate monitoring using microwave doppler sensor and range imagery. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2015* (2015), 6118–21.

- [180] MAYER, R. C., DAVIS, J. H., AND SCHOORMAN, F. D. An integrative model of organizational trust. *The Academy of Management Review* 20, 3 (1995), 709–734.
- [181] MCCARTHY, J. What is artificial intelligence? <http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf> [Online; accessed 26 October 2020], 2007.
- [182] MCGILL UNIVERSITY HEALTH CENTRE. Introducing the world’s first intubation robot. *ScienceDaily* (April 2011).
- [183] MCNULTY, A. Are prehospital deaths from trauma and accidental injury preventable. *A summary report. London: British Red Cross* (2016).
- [184] MERCURI, M., LORATO, I. R., LIU, Y.-H., WIERINGA, F., HOOF, C. V., AND TORFS, T. Vital-sign monitoring and spatial tracking of multiple people using a contactless radar-based sensor. *Nature Electronics* 2, 6 (2019), 252–262.
- [185] METELMANN, B., AND METELMANN, C. Mobile health applications in prehospital emergency medicine. *Mobile Health Applications for Quality Healthcare Delivery, IGI Global 2019* (2019), 117–135.
- [186] MICROSOFT. Your personal productivity assistant in Microsoft 365. <https://www.microsoft.com/en-us/cortana> [Online; accessed 18 October 2020]. Microsofts presentation av den virtuella assistenten Cortana.
- [187] MILIARD, M. Samsung NeuroLogica, MedyMatch partner for AI decision support for paramedics. <https://www.mobihealthnews.com/content/samsung-neurologica-medymatch-partner-ai-decision-support-paramedics> [Online; accessed 7 October 2020], 2017.
- [188] MILREM ROBOTICS. THeMIS UGV. <https://milremrobotics.com/defence/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [189] MIZOKAMI, K. Meet the army’s new robo-mule. *Popular Mechanics*, 2019-11-01. <https://www.popularmechanics.com/military/a29658123/army-robot-mule/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [190] MOFFAT, B., VOGT, K., INABA, K., DEMETRIADES, D., MARTIN, C., MALTHANER, R., GRAY, D., AND PARRY, N. Introduction of a mobile device based tertiary survey application reduces missed injuries: A multi-center prospective study. *Injury* 50, 11 (November 2019), 1938–1943.
- [191] MONDRAGON, N., ISTRATE, D., WEGRZYN-WOLSKA, K., GARCIA, J. C., AND SANCHEZ, J. C. Patient classification algorithm at urgency care area of a hospital based on the triage system. *Journal of Medical Informatics & Technologies* 22 (2013).
- [192] MONEGAIN, B. IBM Watson partners with MedyMatch to put artificial intelligence to work on stopping brain bleeds. <https://www.healthcareitnews.com/node/537406> [Online; accessed 7 October 2020], 2017.
- [193] MORLEY, A., DERRICK, J., MAINLAND, P., LEE, B. B., AND SHORT, T. G. Closed loop control of anaesthesia: an assessment of the bispectral index as the target of control. *Anaesthesia* 55, 10 (2000), 953–959.

- [194] MUDIE, K. L., BOYNTON, A. C., KARAKOLIS, T., O'DONOVAN, M. P., KANAGAKI, G. B., CROWELL, H. P., BEGG, R. K., LAFIANDRA, M. E., AND BILLING, D. C. Consensus paper on testing and evaluation of military exoskeletons for the dismounted combatant. *Journal of Science and Medicine in Sport* 21, 11 (2018), 1154 – 1161. 4th International Congress on Soldiers' Physical Performance.
- [195] MULLIN, E. Artificial intelligence pinpoints nine different abnormalities in head scans. *Nat Med* 58 (2018), 452.
- [196] MYNDIGHETEN FÖR SAMHÄLLSSKYDD OCH BEREDSKAP. *Akut omhändertagande – för räddningstjänstpersonal*. No. MSB1052. October 2017.
- [197] NASA. Robo-glove. wearable technology that reduces the force needed to operate tools. <https://technology.nasa.gov/patent/MS-C-TOPS-37> [Online; accessed 26 October 2020].
- [198] NASA. NASA's Ironman-Like Exoskeleton Could Give Astronauts, Paraplegics Improved Mobility and Strength. https://www.nasa.gov/offices/oct/home/feature_exoskeleton.html [Online; accessed 7 October 2020], 2013.
- [199] NATO. Standardization. https://www.nato.int/cps/en/natolive/topics_69269.htm [Online; accessed 7 October 2020], 2017.
- [200] NATO SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION. Safe Ride Standards for Casualty Evacuation Using Unmanned Aerial Vehicles. Tech. rep., STO-TR-HFM-184, 2012.
- [201] NATO SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION. Development of autonomous medical systems for tactical evacuation. Tech. rep., HFM ET-167, 2019.
- [202] NATO STANDARDIZATION OFFICE. *Allied Joint Medical Doctrine for Medical Evacuation*. 2018.
- [203] NATO STANDARDIZATION OFFICE. *Allied Joint Doctrine for Medical Support*. 2019.
- [204] NAVAL TECHNOLOGY. MQ-8C Fire Scout Unmanned Aerial System. <https://www.naval-technology.com/projects/mq-8c-fire-scout-unmanned-aerial-system/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [205] NEADES, D. The operational requirement-based casualty assessment (ORCA) model. In *ISMOR (The International Symposium on Military OR) 12th symposium* (1995).
- [206] NEWS-MEDICAL.NET. DoD provides support to develop AI tools for saving lives of injured soldiers. <https://reachmd.com/news/us-department-defense-provides-support-develop-ai-tools-saving-lives-badly-injured-soldiers/1629441/> [Online; accessed 7 October 2020], 2019.
- [207] NORTHROP GRUMMAN. Fire Scout Unmanned Aircraft System. <https://www.northropgrumman.com/air/fire-scout/> [Online; accessed 7 October 2020].

- [208] OLIVER, N. How wearable technology is supporting military medical devices. <https://www.medicalplasticsnews.com/news/opinion/bringing-military-medical-devices-into-the-21st-century/> [Online; accessed 7 October 2020], 2018.
- [209] OSTERHOFF, G., PFÖRRINGER, D., SCHERER, J., JUHRA, C., MÄRDIGAN, S., AND BACK, D. Computerassistierte entscheidungsfindung beim traumapatientencomputer-assisted decision-making for trauma patients. *Der Unfallchirurg* (06 2019).
- [210] OUERHANI, N., MAALEL, A., AND GHÉZELA, H. B. SPeCECA: a smart pervasive chatbot for emergency case assistance based on cloud computing. *Cluster Computing* (2019), 1–12.
- [211] PAK, N., SIEGLE, J. H., KINNEY, J. P., DENMAN, D. J., BLANCHE, T. J., AND BOYDEN, E. S. Closed-loop, ultraprecise, automated craniotomies. *Journal of neurophysiology* 113, 10 (2015), 3943–3953.
- [212] PALLIN (RED.), K., BERGSTRAND, B.-G., DALSJÖ, R., ERIKSSON, P., FRISSELL, E. H., JONSSON, M., LINDSTRÖM, M., NORDSTRAND, E., ROSSBACH, N. H., SUNDBERG, A., WIKSTRÖM, P., AND WINNERSTIG, M. Västlig militär förmåga - en analys av nordeuropa 2017. Tech. rep., Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R-4563-SE, 2018.
- [213] PARÉ, A. The Workes of that Famous Chirurgion Ambrose Parey. Translated Out of Latine and Compared with the French. by Th: Johnson, Th: Cotes and R. Young., 1634.
- [214] PAUL, W. Soldier vulnerability model, VeMo-S. In *European Survivability Workshop, Köln-Wahn, Germany* (2002).
- [215] PEREIRA, C. B., YU, X., CZAPLIK, M., ROSSAINT, R., BLAZEK, V., AND LEONHARDT, S. Remote monitoring of breathing dynamics using infrared thermography. *Biomed. Opt. Express* 6, 11 (Nov 2015), 4378–4394.
- [216] PERKINS, Z. B. *Bayesian Network Decision-Support for Severe Lower Limb Trauma*. PhD thesis, Queen Mary University of London, 2016. <https://core.ac.uk/download/pdf/77041281.pdf> [Online; accessed 18 October 2020].
- [217] POROPATICH, R. K., AND PINSKY, M. R. Robotics enabled autonomous and closed loop trauma care in a rucksack. *Healthcare Transformation* (2020).
- [218] PREVEDELLO, L. M., ERDAL, B. S., RYU, J. L., LITTLE, K. J., DEMIRER, M., QIAN, S., AND WHITE, R. D. Automated critical test findings identification and online notification system using artificial intelligence in imaging. *Radiology* 285, 3 (2017), 923–931.
- [219] PUREWAL, S. J. The difference between Google Now and Google Assistant. <https://www.cnet.com/how-to/the-difference-between-google-now-and-google-assistant/> [Online; accessed 18 October 2020], 2016. En diskussion om Googles virtuella assistenter.
- [220] RAHMAN, A. The Equivital healthcare wearable worn by US soldiers to avoid heat-related injury. <https://www.nsmedicaldevices.com/news/healthcare-wearable-military-red-bull/> [Online; accessed 20 October 2020], 2019.

- [221] RAJ, P., MURALI KRISHNA, R., KRISHNA, S. M., VARDHAN, H. H., AND RAO, K. Emergency patient care system using chatbot.
- [222] RAJ, R., LUOSTARINEN, T., PURSIAINEN, E., POSTI, J., TAKALA, R., BENDEL, S., KONTTILA, T., AND KORJA, M. Machine learning-based dynamic mortality prediction after traumatic brain injury. *Scientific Reports* 9 (11 2019).
- [223] RAMN, J., AND MULDER, M. Användarvänlig ambulansmodul: Design av ambulansmiljö till drönare. Tech. rep., Luleå Tekniska Universitet, 2019.
- [224] RANTAKOKKO, J., BENGTTSSON, K., SVENSSON, C., LENNARTSSON, R., AND SKARSTIND, M. Tekniköversikt autonoma och obemannade system – del 3: Sjöstriden. Tech. rep., Totalförsvarets forskningsinstitut, To be published, 2020.
- [225] RANTAKOKKO, J., NÄSSTRÖM, F., NYGÅRDS, J., BENGTTSSON, K., AND WOLTJER, R. Tekniköversikt autonoma och obemannade system – del 2: Markstriden. Tech. rep., Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R-4901-SE, 2019.
- [226] REGERINGEN. *Uppdrag till Totalförsvarets forskningsinstitut att genomföra en analys om hur svenskt deltagande i Internationella säkerhetsstyrkan i Afghanistan har påverkat Försvarsmakten*. No. Fö2015/01297/MFI. 2015.
- [227] REITER, E. How artificial intelligence can help first responders. <https://medium.com/@doretta/how-artificial-intelligence-can-help-first-responders-5088eea6241b> [Online; accessed 20 October 2020], 2018.
- [228] RIELAND, R. In an emergency, you’ll want this hi-tech first aid kit. <https://www.smithsonianmag.com/innovation/in-emergency-youll-want-this-hi-tech-first-aid-kit-180963062/> [Online; accessed 20 October 2020], 2017. Smithsonian Magazine.
- [229] ROGERS, J. ROBO-DOC: First aid ‘robot’ designed to help deal with medical emergencies. *Express* (2017).
- [230] ROGERS, S. This AI Can Help Emergency Responders Diagnose a Heart Attack. <https://interestingengineering.com/this-ai-can-help-emergency-responders-diagnose-a-heart-attack> [Online; accessed 20 October 2020], 2018.
- [231] ROHNE, H. *Schießlehre für Infanterie unter besonderer Berücksichtigung des Gewehrs 98 mit S-Munition der Maschinengewehre und der Schießvorschrift für die Infanterie vom 2. November 1905*. Berlin, Ernst Siegfried Mittler, 1906.
- [232] ROSSER JR, J. C., VIGNESH, V., TERWILLIGER, B. A., AND PARKER, B. C. Surgical and medical applications of drones: a comprehensive review. *JSLS: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons* 22, 3 (2018).
- [233] RUI, P., K. K., AND ALBERT, M. National hospital ambulatory medical care survey: 2014 emergency department summary tables. https://www.cdc.gov/nchs/data/nhamcs/web_tables/2014_ed_web_tables.pdf [Online; accessed 20 October 2020], 2018.

- [234] SAE INTERNATIONAL. SAE autonominivåer för självkörande fordon. <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic> [Online; accessed 7 October 2020].
- [235] SAUCIER, R., AND KASH, H. ComputerMan model description. *US Army Research Laboratory Technical Report Number ARL-TR-500*. US Army Research Laboratory, APG, MD (1994).
- [236] SAYLER, K. M. Defense primer: U.s. policy on lethal autonomous weapons systems. *Congressional Research Service, IF11150, Version 1* (2019), 1–1.
- [237] SCANZILLO, T. M., AND LOPACIENSKI, E. M. Influence operations and the human domain. *CIWAG Case Studies*, 13 (2015).
- [238] SCHNEIDER, A. H., MORT, A., KINDNESS, P., MELLISH, C., REITER, E., AND WILSON, P. Using technology to enhance rural resilience in pre-hospital emergencies. *Scottish Geographical Journal* 131, 3-4 (2015), 194–200.
- [239] SCHÜTT, K., ARBABZADAH, F., CHMIELA, S., MULLER, K., AND TKATCHENKO, A. Quantum-chemical insights from deep tensor neural networks. *Nature Communications* 8 (2017).
- [240] SEFRIQUI, I., AMADINI, R., MAURO, J., FALLAHI, A. E., AND GABBRIELLI, M. Survival prediction of trauma patients: a study on US National Trauma Data Bank. *European journal of trauma and emergency surgery* 43, 6 (2017), 805–822.
- [241] SFS 1990:12 TOTALFÖRSVARETS FOLKRÄTTSFÖRORDNING (8 §). Stockholm: Försvarsdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/totalforsvarets-folkrattsforordning-199012_sfs-1990-12 [Online; accessed 26 October 2020].
- [242] SFS 1993:584. LAG OM MEDICINTEKNISKA PRODUKTER. Stockholm: Socialdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-1993584-om-medicintekniska-produkter_sfs-1993-584 [Online; accessed 7 October 2020].
- [243] SFS 1993:876. FÖRORDNING OM MEDICINTEKNISKA PRODUKTER. Stockholm: Socialdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-1993876-om-medicintekniska_sfs-1993-876 [Online; accessed 7 October 2020].
- [244] SFS 1998:204. PERSONUPPGIFTSLAG. Stockholm: Justitiedepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/personuppgiftslag-1998204_sfs-1998-204 [Online; accessed 7 October 2020].
- [245] SFS 2002:375. FÖRORDNING OM FÖRSVARSMAKTENS STÖD TILL CIVIL VERKSAMHET. Stockholm: Försvarsdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2002375-om-forsvarsmaktens-stod_sfs-2002-375 [Online; accessed 7 October 2020].

- [246] SFS 2003:778. LAG OM SKYDD MOT OLYCKOR. Stockholm: Justitiedepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2003778-om-skydd-mot-olyckor_sfs-2003-778 [Online; accessed 7 October 2020].
- [247] SFS 2006:343. LAG OM FÖRSVARSMAKTENS STÖD TILL POLISEN VID TERRORISMBEKÄMPNING. Stockholm: Justitiedepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2006343-om-forsvarsmaktens-stod-till_sfs-2006-343 [Online; accessed 7 October 2020].
- [248] SFS 2006:344. FÖRORDNING OM FÖRSVARSMAKTENS STÖD TILL POLISEN VID TERRORISMBEKÄMPNING. Stockholm: Justitiedepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2006344-om-forsvarsmaktens-stod_sfs-2006-344 [Online; accessed 7 October 2020].
- [249] SFS 2010:659. PATIENTSÄKERHETSLAG. Stockholm: Socialdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/patientsakerhetslag-2010659_sfs-2010-659 [Online; accessed 7 October 2020].
- [250] SFS 2013:176. FÖRORDNING MED INSTRUKTION FÖR INSPEKTIONEN FÖR VÅRD OCH OMSORG. Stockholm: Socialdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2013176-med-instruktion-for_sfs-2013-176 [Online; accessed 7 October 2020].
- [251] SFS 2014:821. PATIENTLAG. Stockholm: Socialdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/patientlag-2014821_sfs-2014-821 [Online; accessed 7 October 2020].
- [252] SFS 2017:113. FÖRORDNING OM FÖRSVARSMAKTENS STÖD TILL POLISEN MED HELIKOPTERTRANSPORTER. Stockholm: Försvarsdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2017113-om-forsvarsmaktens-stod_sfs-2017-113 [Online; accessed 7 October 2020].
- [253] SFS 2017:30. HÄLSO- OCH SJUKVÅRDSLÄG. Stockholm: Socialdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/halso--och-sjukvardslag_sfs-2017-30 [Online; accessed 7 October 2020].
- [254] SFS 2017:799. FÖRORDNING OM FÖRSVARINSPEKTÖREN FÖR HÄLSA OCH MILJÖS TILLSYN ÖVER HÄLSO- OCH SJUKVÅRDEN, TANDVÅRDEN OCH SMITTSKYDDET. Stockholm: Försvarsdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2017799-om-forsvarsinspektoren-for_sfs-2017-799 [Online; accessed 7 October 2020].
- [255] SFS 2017:80. HÄLSO- OCH SJUKVÅRDSFÖRORDNING. Stockholm: Socialdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/halso--och-sjukvardsforordning-201780_sfs-2017-80 [Online; accessed 7 October 2020].

- [256] SFS 2018:218. LAG MED KOMPLETTERANDE BESTÄMMELSER TILL EU:S DATASKYDDSFÖRORDNING. Stockholm: Justitiedepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2018218-med-kompletterande-bestammelser_sfs-2018-218 [Online; accessed 7 October 2020].
- [257] SFS 2020:57. FÖRORDNING MED INSTRUKTION FÖR LÄKEMEDELSVERKET. Stockholm: Socialdepartementet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-202057-med-instruktion-for_sfs-2020-57 [Online; accessed 7 October 2020].
- [258] SHAFAR, N., AND MALEK, H. Applications of machine learning approaches in emergency medicine; a review article. *Archives of academic emergency medicine* 7, 1 (06 2019), 34.
- [259] SHI, H., ZHAO, H., LIU, Y., GAO, W., AND DOU, S. C. Systematic analysis of a military wearable device based on a multi-level fusion framework: Research directions. *Sensors* 19, 12 (2019), 22.
- [260] SILFVERSKIÖLD, S. Ett militärtekniskt perspektiv på förmågeutveckling. *Kungl Krigsvetenskapsakademiens Handlingar och Tidskrift*, 1 (2017), 71–92.
- [261] SMYTH, L. Bringing military medical devices into the 21st century. <https://www.engineerlive.com/content/bringing-military-medical-devices-21st-century> [Online; accessed 20 October 2020], 2018.
- [262] SONESSON, L., BOFFARD, K., LUNDBERG, L., RYDMARK, M., AND KARLGREN, K. Decision-making in management of the complex trauma patient: changing the mindset of the non-trauma surgeon. *World journal of surgery* 42, 8 (2018), 2392–2397.
- [263] SONG, R., ZHANG, S., LI, C., ZHANG, Y., CHENG, J., AND CHEN, X. Heart rate estimation from facial videos using a spatiotemporal representation with convolutional neural networks. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 69, 10 (2020), 7411–7421.
- [264] SOSFS 2008:1. SOCIALSTYRELSENS FÖRESKRIFTER OM ANVÄNDNING AV MEDICINTEKNISKA PRODUKTER I HÄLSO- OCH SJUKVÅRDEN. Stockholm: Socialdepartementet. <https://www.socialstyrelsen.se/regler-och-riktlinjer/foreskrifter-och-allmanna-rad/konsoliderade-foreskrifter/20081-om-anvandning-av-medicintekniska-produkter-i-halso--och-sjukvarden/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [265] SOU 2010:22. KRIGETS LAGAR – CENTRALA DOKUMENT OM FOLKRÄTTEN UNDER VÄPNAD KONFLIKT, NEUTRALITET, OKUPATION OCH FREDSENSATSER. Stockholm. Norstedts Juridik. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2010/05/sou-201022/> [Online; accessed 26 October 2020], 2010.
- [266] SOU 2018:63. BEHANDLINGEN AV PERSONUPPGIFTER VID FÖRSVARSMAKTEN OCH FÖRSVARETS RADIOANSTALT. Stockholm. Norstedts Juridik. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/>

- statens-offentliga-utredningar/2018/08/behandlingen-av-personuppgifter-vid-forsvarsmakten-och-forsvarets-radioanstalt/ [Online; accessed 7 October 2020].
- [267] SOU 2020:23. HÄLSO- OCH SJUKVÅRD I DET CIVILA FÖRSVARET. Stockholm. Norstedts Juridik. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2020/04/sou-202023/> [Online; accessed 26 October 2020], 2020.
- [268] SOUTH, T. Hive-like ‘drone pack’ could resupply far-flung marines with a push of a button. Marine Corps Times, 2018-03-21. <https://www.marinecorpstimes.com/news/your-marine-corps/2018/03/21/hive-like-drone-pack-could-resupply-far-flung-marines-with-a-push-of-a-button/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [269] SPEAR, A. M., LAWTON, G., STARUCH, R. M. T., AND RICKARD, R. F. Regenerative medicine and war: a front-line focus for uk defence. *npj Regenerative Medicine* 3, 1 (2018), 13.
- [270] STARR, M. This Robotic Arm Inspired by Luke Skywalker Has Allowed an Amputee to Feel Again. <https://www.sciencealert.com/a-luke-skywalker-inspired-mind-controlled-robotic-arm-allows-its-wearer-to-feel> [Online; accessed 20 October 2020], 2019.
- [271] STERNBACH, G. L. The Glasgow coma scale. *The Journal of emergency medicine* 19, 1 (2000), 67–71.
- [272] STRUYS, M. M. R. F., DE SMET, T., VERSICHELEN, L. F. M., VAN DE VELDE, S., VAN DEN BROECKE, R., AND MORTIER, E. P. Comparison of closed-loop controlled administration of propofol using bispectral index as the controlled variable versus “standard practice” controlled administration. *Anesthesiology* 95, 1 (07 2001), 6–17.
- [273] SVENSKA LÄKARESÄLLSKAPET. Etiska koder. <https://www.sls.se/etik/etiska-koder/> [Online; accessed 20 October 2020], 2020.
- [274] SVOBODA, E. Your robot surgeon will see you now. *Nature* 573, 7775 (2019), S110–S111.
- [275] TACTICAL ROBOTICS LTD. Cormorant datablad. [https://cdn.exiteme.com/exitetogo/www.tactical-robotics.com/userfiles/files/TRL%20Flyer%20\(March%208,%202019\).pdf](https://cdn.exiteme.com/exitetogo/www.tactical-robotics.com/userfiles/files/TRL%20Flyer%20(March%208,%202019).pdf) [Online; accessed 7 October 2020].
- [276] TACTICAL ROBOTICS LTD. Cormorant UAV. <https://www.tactical-robotics.com/category/cormorant> [Online; accessed 7 October 2020].
- [277] TATRC TIMES. TATRC & NATO Look at Autonomous Tactical Evacuation in Munich. <https://www.tatrc.org/www/labs-and-programs/operational-telemedicine/News/2019-Q4-misl-nato-hfm.html> [Online; accessed 7 October 2020], 2019-09-30.
- [278] TCHKUASELI, Z. Kaman K-MAX - Flying Crane. Military Today, https://www.military-today.com/helicopters/kaman_kmax.htm [Online; accessed 7 October 2020].

- [279] THIELS, C., AHO, J., ZIETLOW, S., AND JENKINS, D. Use of unmanned aerial vehicles for medical product transport. *Journal of Air Medical Transport* (2015).
- [280] THOMAS, M. Artificial intelligence helping paramedics. <https://www.quintenews.com/2019/06/27/210196/> [Online; accessed 20 October 2020], 2019.
- [281] THUNHOLM, P., AND WIDÉN, J. Militära doktriner. Tech. rep., Swedish Defence University, War Studies Division, Maritime Operations Section, 2016. Rapport i FM FoT Militära professionen, delprojekt Doktrin, Bilaga 5. FHS skrivelse Ö 388/2015, Underbilaga 5.1, 2016-12-23.
- [282] TJARDES, T., HELLER, R. A., PFÖRRINGER, D., LOHMANN, R., BACK, D. A., AND DGOU, A. G. D. Künstliche intelligenz in der orthopädie und unfallchirurgie [artificial intelligence in orthopedics and trauma surgery]. *Der Chirurg* 91, 3 (2020), 201–205.
- [283] TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSPOLITIK. Det är på riktigt nu! Hur det svenska Isaf-deltagandet har påverkat Försvarsmakten. Skr FOI-2015–1631, Bilaga 1, Underbilaga 10 Försvarsmedicin, 2015.
- [284] TUTTLE, A. H., MOLINARO, M. J., JETHWA, J. F., SOTOCINAL, S. G., PRIETO, J. C., STYNER, M. A., MOGIL, J. S., AND ZYLKA, M. J. A deep neural network to assess spontaneous pain from mouse facial expressions. *Molecular Pain* 14 (2018), 9.
- [285] UMS SKELDAR. Skeldar V-200 - Unmanned, Versatile & Mission Ready. <https://umsskeldar.aero/our-products/rpas-systems/v-200-skeldar/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [286] URBAN AERONAUTICS. Cormorant UAV. <https://www.urbanaero.com/3dmobility.html#medevac> [Online; accessed 7 October 2020].
- [287] U.S. GOVERNMENT. Humanitarian benefits of emerging technologies in the area of lethal autonomous weapon systems. *CCW/CGE.1/2018/WP.4* (2018), 1–6.
- [288] U.S. SPECIAL OPERATIONS COMMAND. Operating in the human domain. <https://nsiteam.com/social/wp-content/uploads/2017/01/SOF-OHD-Concept-V1.0-3-Aug-15.pdf> [Online; accessed 26 October 2020], 2015.
- [289] VINYALS, O., BABUSCHKIN, I., CZARNECKI, W. M., MATHIEU, M., DUDZIK, A., CHUNG, J., CHOI, D. H., POWELL, R., EWALDS, T., GEORGIEV, P., ET AL. Grandmaster level in StarCraft II using multi-agent reinforcement learning. *Nature* 575, 7782 (2019), 350–354.
- [290] VOLOCOPTER. Unmanned helicopter Volocopter. <https://www.volocopter.com/en/product/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [291] VOLOCOPTER. Volodrone - the sustainable heavy-lift drone for various industries. <https://www.volocopter.com/en/volodrone/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [292] WANG, C., CHEN, X., HONG, J., MENG, L., CHENG, W., ZHU, X., LU, J., AND LI, P. Extendable, large-field multi-modal optical imaging system for measuring tissue hemodynamics. *Biomed. Opt. Express* 11, 5 (May 2020), 2339–2351.

- [293] WANG, X., TAO, Y., TAO, X., CHEN, J., JIN, Y., SHAN, Z., TAN, J., CAO, Q., AND PAN, T. An original design of remote robot-assisted intubation system. *Scientific Reports* 8, 13403 (09 2018).
- [294] WEBBER, B., CARBERRY, S., CLARKE, J., GERTNER, A., HARVEY, T., RYMON, R., AND WASHINGTON, R. Exploiting multiple goals and intentions in decision support for the management of multiple trauma: A review of the TraumAID project. *Artificial Intelligence* 105 (10 1998), 263–293.
- [295] WEBBER, B., CLARKE, J., NIV, M., RYMON, R., AND M., I. TraumAID: Reasoning and Planning in the Initial Definitive Management of Multiple Injuries.
- [296] WEBBER, B., CLARKE, J., RYMON, R., NIV, M., AND IBÁÑEZ, M. TraumAID: AI Support in the Management of Multiple Trauma. *Technical Reports (CIS)* (05 1990).
- [297] WEBBER, B. L. Decision support for multiple trauma management. *CLiFF Notes; Research in the Language, Information and Computation Laboratory of the University of Pennsylvania. Annual Report. M. Stone and L. Levison. Philadelphia, PA, Department of Computer and Information Science University of Pennsylvania.* 4, 87 (05 1994).
- [298] WEBBER, B. L., CLARKE, J. R., CHI, D., GERTNER, A., KAYE, J., NEUMANN, S., OGUNYEMI, L., AND SINGH, M. The TraumAID Project. *Research in the Language, Information and Computation Laboratory of the University of Pennsylvania* 102 (1995).
- [299] WEDLIN, M. Informationsarenan som begrepp. Tech. rep., Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R-3157-SE, 2011.
- [300] WEIZENBAUM, J. ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM* 9, 1 (1966), 36–45.
- [301] WHO. *Telemedicine: opportunities and developments in Member States: report on the second global survey on eHealth 2009*. No. 2 in Global Observatory for eHealth Series. WHO Global Observatory for eHealth, 2010.
- [302] WIDGREN, B. R., NILSSON, G., AND ÖRTENWALL, P. Prehospital triage enligt metts-t ger mer effektiv traumasjukvård - enkel och medicinskt säker metod, visar retrospektiv studie. *Läkartidningen* 106, 11 (2009), 746–9.
- [303] WIKIPEDIA. Artificial general intelligence. https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_general_intelligence [Online; accessed 7 October 2020].
- [304] WIKIPEDIA. Definition av autonomi. <https://sv.wikipedia.org/wiki/Autonomi> [Online; accessed 7 October 2020].
- [305] WIKIPEDIA. The doctor (star trek: Voyager). [https://en.wikipedia.org/wiki/The_Doctor_\(Star_Trek:_Voyager\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Doctor_(Star_Trek:_Voyager)) [Online; accessed 21 October 2020].

- [306] WILLIAMS (ED.), A., AND SCHARRE (ED.), P. Autonomous systems - issues for defence policymakers. Tech. rep., NATO Allied Command Transformation, 2015.
- [307] WON, D.-O., MÜLLER, K.-R., AND LEE, S.-W. An adaptive deep reinforcement learning framework enables curling robots with human-like performance in real-world conditions. *Science Robotics* 5, 46 (2020).
- [308] YAKUSHIJI, F., YAKUSHIJI, K., AND FUJITA, H. The quality of blood dropped from an unmanned aerial vehicle (drone). *Hematology & Transfusion International Journal* (April 2020).
- [309] YAKUSHIJI, F., YAKUSHIJI, K., FURATA, M., HIROI, N., AND FUJITA, H. The quality of blood is not affected by drone transport: An evidential study of the unmanned aerial vehicle conveyance of transfusion material in japan. *Drones* (January 2020).
- [310] YANG, S., LI, J., TANG, X., CHEN, S., MARSIC, I., AND BURD, R. S. Process mining for trauma resuscitation. *The IEEE intelligent informatics bulletin* 18, 1 (2017).
- [311] YEAKLEY, R. M., AND SAXENA, M. How could artificial intelligence benefit emergency medicine? <https://ai-med.io/artificial-intelligence-emergency-medicine/> [Online; accessed 20 October 2020], 2018.
- [312] YOSHIOKA, M., AND MURAKAMI, K. A new approach for non-contact pulse transit time measurement using microwave and image sensors. In *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)* (2016), pp. 333–334.
- [313] ZIPLINE. Zipline UAV. <https://flyzipline.com/how-it-works/> [Online; accessed 7 October 2020].
- [314] ÅKERLUND, M., WRETLUND, M. F., AND ANZÉN, L. Skeptisk till chatbots? Därför är det läge att tänka om! <http://insights.trinovo.se/skeptisk-till-chatbots-darfor-ar-det-lage-att-tank-a-om> [Online; accessed 20 October 2020], 2019.

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